

C.E.E.M.A.T.

Centre d'Etude et d'Expérimentation en
Mécanisation Agricole et Technologie alimentaire

C.N.E.A.R.C.

Centre National d'Etudes Agronomiques
des Régions Chaudes

E.S.A.T.

Ecole Supérieure d'Agronomie Tropicale

MEMOIRE

pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Agronomie Tropicale

(D.I.A.T.)

Option : Machinisme Agricole

MODELISATION DU COMPORTEMENT DE QUELQUES CELLULES MOTRICES POUR LE TRANSPORT EN ZONE DE MONTAGNE REUNIONNAISE

par **ADJIRI Eby**

Maître de stage :
J.M. PAILLAT
CEEMAT-Réunion

Montpellier
Décembre 1991

REMERCIEMENTS

L'organisation et la réussite de ce stage de fin d'étude, émane de l'oeuvre de plusieurs personnes.

Je tiens donc à exprimer ma profonde gratitude à toutes ces personnes qui m'ont permis de réaliser ce présent travail et plus particulièrement à :

- Mr J.L. MAZOT, professeur en Machinisme Agricole au CEEMAT de Montpellier, pour l'organisation du stage.
- Mr R. PIROT, Ingénieur à la Division MPA, pour ses conseils.
- Mr A. DUCREUX, Docteur-Ingénieur au CEEMAT, qui m'a trouvé ce stage.
- Mlles Nadège NANGUET et Josie SIHOU-AMAR, secrétaires, pour la saisie du mémoire.
- Mr G. VINCENT, Thésard à l'IRAT, Antenne de Saint-Denis, pour son soutien dans le maniement de l'outil informatique.
- Le service Méthodologique de l'IRAT de Montpellier.
- A tout le personnel du CEEMAT, Antenne de La Réunion, pour le côté pratique du stage ;

Je ne saurais terminer sans exprimer ma profonde gratitude à Mr J.M. PAILLAT, mon Directeur de mémoire, qui, par ses précieux conseils et sa constante disponibilité, m'a permis de profiter de son expérience.

RESUME

Cette étude a pour aboutissement, l'élaboration d'une méthode reproductible de prévision des capacités au transport de cellules motrices en zone de fortes pentes ; et ce, dans l'optique d'aider les parties prenantes, notamment l'agriculteur à user au mieux son matériel.

Afin d'atteindre l'objectif que nous nous sommes fixés, un modèle mathématique a été établi pour chaque engin testé, en partant toujours d'un même principe.

Le moyen utilisé est la chaîne de mesures CEEMAT, pour cerner l'environnement de travail des machines et l'évolution de leurs capacités au champ.

L'analyse des résultats a permis de mettre en exergue des limites de pentes et de glissement maximal. L'effet des dispositifs d'adhérence sur les performances des différents engins a été ébauché.

Cependant, un quelconque usage des modèles proposés doit passer d'abord par leur validation dans les mêmes conditions des essais.

ABSTRACT

This aim of this project is to develop a reproducible method of forecasting the transport capacities of prime movers on steep slopes, to help the people concerned, namely farmers, to a better use of their equipment.

In order to reach our target, a mathematical model has been developed on each vehicle under test, using the same principle each time.

The CEEMAT field data measuring system has been utilized to evaluate the existing operating conditions of the machines and the evolution of their performance.

Analysis of the results has allowed us to highlight the limits of slope and maximum wheelslip. The effects of the adherence devices on the performance of the various vehicles have been outlined.

However, before use, the proposed models must first be ratified in the actual conditions of the trials.

SOMMAIRE

	PAGES
REMERCIEMENTS	
RESUME	
SOMMAIRE	
INTRODUCTION GENERALE	1
<u>PREMIERE PARTIE</u> : Milieu et contexte des exploitations	
INTRODUCTION	4
I- PRESENTATION DES CONTEXTES PHYSIQUE ET HUMAIN	4
1.1. Localisation	4
1.2. Climat	5
a) Pluviométrie	5
b) Température	5
1.3. Végétation	5
1.4. Sols	5
1.5. Production agricole	8
1.6. Population	8
II- APERCU SUR QUELQUES EXPLOITATIONS D'ELEVAGE DES HAUTS DE LA REUNION	8
2.1. Détermination et compréhension du choix des techniques	9
2.2. Présentation des exploitations enquêtées	10
2.2.1. Cas N° 1	10
a/ Présentation	10
b/ Besoins en mécanisation	10
2.2.2. Cas N° 2	11
a/ Présentation	11
b/ Besoins en mécanisation	11

2.2.3. Cas N° 3	12
a/ Présentation	12
b/ Besoins en mécanisation	12
2.2.4. Cas N° 4	12
a/ Présentation	12
b/ Besoins en mécanisation	13
III- APERCU SUR LE MATERIEL ADAPTE AUX ZONES DE MONTAGNE	13
3.1. Différents matériels et leurs caractéristiques	13
3.2. Coût d'utilisation dans les Hauts	13
CONCLUSION	15
 <u>DEUXIEME PARTIE : Notion de glissement - Chaîne de mesures et application</u>	
I- REPARTITION DE LA PUISSANCE DEVELOPPEE PAR LE TRACTEUR ET NOTION DE GLISSEMENT	17
1.1. Puissance prise de force	17
1.2. Puissance fournie aux roues	17
1.3. Les pertes par glissement et roulement	18
1.3.1. Le glissement	18
1.3.2. Glissement et effort de traction	20
1.3.3. Le roulement	20
1.4. Les pertes dues à la pente	21
1.5. Puissance à la barre	21
II- PRESENTATION DE LA CHAINE DE MESURES DE TERRAIN	23
2.1. Les composantes de la chaîne de mesures	23
2.1.1. Les capteurs	23
a) Capteurs analogiques	23
b) Capteurs logiques	23
2.1.2. La centrale d'acquisition	24
2.1.3. L'unité de transfert	24
2.2. Le traitement des données	24

III- LES ESSAIS ANTERIEURS DE PERFORMANCES DU MATERIEL	26
3.1. Historique	26
3.2. Buts recherchés	26
3.3. Méthodologie employée	26
3.4. Résultats obtenus	26
3.5. Critiques	27

TROISIEME PARTIE : Capacité au transport

A- CAPACITE AU TRANSPORT : Matériels et méthodes	29
I- METHODOLOGIE	29
1.1. Rappel des objectifs	29
1.2. Justification des composantes à caractériser	29
1.3. Etalonnage des capteurs	29
1.3.1. Détermination des constantes radar	30
1.3.2. Détermination des constantes de transmission	30
1.4. Calcul d'erreurs et choix du temps de scrutation	31
1.4.1. Capteurs logiques	31
1.4.2. Capteurs analogiques	31
1.5. Obtention des résultats	32
II- CARACTERISTIQUES DU SUPPORT SOL	33
III- LES EQUIPEMENTS UTILISES	33
3.1. Le Bucher TM 850, le Motoculteur REV 2300 et le Mouflon 2700	33
3.1.1. Le Bucher	33
a) <i>Caractéristiques</i>	33
b) <i>Passage au banc</i>	34
3.1.2. Le motoculteur	34
3.1.3. Le Mouflon 2700	34
3.2. Les Bennes et Remorques	34
3.3. Les capteurs	34
3.3.1. Le compte-tours	34
3.3.2. Le radar	37

3.3.3. Le débimètre	37
3.3.4. L'inclinomètre	37
B- CAPACITE AU TRANSPORT : Résultats et Modélisation	38
I- AJUSTEMENT NON LINEAIRE	38
1.1. Méthodologie adoptée	38
1.1.1. Paramétrage	38
1.1.2. Introduction d'une contrainte	38
1.2. Résultats de l'ajustement	39
1.2.1. Le Bucher	40
1.2.2. Le Motoculteur avec les chenilles	40
1.2.3. Le Motoculteur avec les pneumatiques	41
1.2.4. Le Mouflon	41
1.3. Intérêt des résultats	42
1.3.1. Limites de patinage	42
1.3.2. Limites de pente	42
II - MODELISATION	44
2.1. Le Bucher	45
2.2. Le Motoculteur avec les chenilles	45
2.3. Le Motoculteur avec les pneumatiques	46
2.4. Le Mouflon	46
III- ANALYSE DES RESULTATS	46
3.1. Comportement au transport du Bucher	46
3.2. Comportement au transport du Motoculteur avec les chenilles	48
3.3. Comportement au transport du Motoculteur avec les pneumatiques	48
3.4. Comportement du Mouflon 2700	48
3.5. Limites de l'étude	49
CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

	PAGES
Localisation de l'île de La Réunion	4
Pluviométrie et Température des Hauts	6
Carte et coupe géologique simplifiées	7
Répartition de la puissance développée par le tracteur	17
Glissement en fonction de la nature du terrain	19
Glissement en fonction des types de pneumatiques	19
Schéma de la chaîne de mesures CEEMAT	22
Différentes parties d'un capteur	23
La Centrale d'acquisition 21x	25
Limites de pente (BUCHER)	42
Limites de pente (Motoculteur avec les roues)	43
Limites de pente (Motoculteur avec les chenilles)	43
Limites de pente (Mouflon)	44
Représentation schématique de répartition des charges sur les engins	47

LISTE DES PHOTOS

Le BUCHER TM 850	35
Le Motoculteur REV 2300	35
Le compte-tours	35
Le radar	36
Le débitmètre	36
L'inclinomètre et le 21x	36

DEFINITION DES SIGLES

- A.F.P.** : Association Fourragère Pastorale
- B.C.M.E.A.** : Bureau Commun du Machinisme et des Equipements Agricoles
- C.E.E.M.A.T.** : Centre National d'Etudes et d'Expérimentation en Mécanisation Agricole et Technologie Alimentaire
- C.I.N.A.M.** : Etude Industrielle et Aménagement du Territoire
- C.N.E.E.M.A.** : Centre National d'Etudes et d'Essais des Machines Agricoles
- S.I.C.A.** : Société d'Intérêt Collectif Agricole
- U.T.H.** : Unité Travail Horaire

INTRODUCTION GENERALE

Après la phase d'installation dans des élevages principalement laitiers, les agriculteurs des Hauts (600-1500 m d'altitude) se confrontent au problème d'intensification. Mais cette intensification passe par l'aménagement du terrain et une production fourragère conséquente.

Or, jusque là, nombreux sont les agriculteurs qui sont contraints d'effectuer les travaux manuellement, avec d'énormes frais de main-d'oeuvre pour des surfaces d'exploitations très faibles. En effet, la région haute de l'île, réservée à l'élevage, est sans aucun doute la plus accidentée. Dans ce contexte, une mécanisation adaptée spécifiquement à la montagne reste la solution à envisager, car la mécanisation classique n'est plus opérante au delà de 25 à 30 % de pente.

Une des préoccupations du CEEMAT-Réunion est donc de rechercher des solutions adéquates à ce problème de pente.

Depuis un certain temps déjà, plusieurs essais ont été menés chez des éleveurs, en conditions réelles, avec pour objectif de proposer une solution de mécanisation dans les conditions de très fortes pentes. Ces essais ont concerné principalement les Mouflon 1700 et 2700, et l'adaptation d'outils sur sa cellule motrice.

Suite aux essais, d'autres solutions pour la mécanisation de montagne ont été envisagées privilégiant ainsi la fonction transport qui, de loin, occupe 60 % des tâches à mécaniser. C'est ce second volet qui fait l'objet de notre étude.

Au stade actuel des études, les questions qui se posent sont les suivantes :

- Comment proposer aux diverses parties prenantes, un langage et des raisonnements communs pour la fabrication, la vente éventuellement, la gestion et l'utilisation des machines agricoles de plein champ ?
- Comment trouver une méthode de travail pouvant servir au CEEMAT pour aborder d'autres thèmes ou pour la conduite d'autres études antérieures ? D'où la modélisation.

Pour y répondre, il faut tout d'abord connaître le mieux possible les caractéristiques et les performances des matériels.

Les performances des tracteurs mesurées au laboratoire ou sur piste, demeurent une méthode assez théorique et présente très peu d'intérêts pour les utilisateurs.

Le développement de l'informatique à la ferme et des systèmes électroniques embarqués sur les machines, permettent de poser la question de "l'utilité des essais au laboratoire". Cette question se pose sous l'angle à la fois plus général et plus précis de notre capacité à simuler le déroulement des travaux mécanisés sur l'exploitation ; ce qui ouvrirait la voie à des outils de précision et de gestion fonctionnelle d'un grand intérêt pour l'agriculteur utilisant un matériel déterminé.

Les mesures de performances dépendent souvent autant de l'état du terrain que des caractéristiques de l'engin et de son système de transmission. Les phénomènes mécaniques qui se développent au contact d'une roue motrice et d'un sol étant très complexe, deux méthodes peuvent être envisagées :

- soit une modélisation mathématique prenant en compte l'interface roue/sol ;
- soit une modélisation des performances à partir des mesures de terrain.

Le second type a retenu notre attention car plus simple et bien adapté à des applications pratiques.

Pour atteindre cet objectif, nous allons dans une première partie, cerner un peu l'environnement de quelques exploitations concernées.

Puis dans une seconde partie, à l'occasion d'une étude bibliographique, présenter la chaîne de mesure CEEMAT et les acquis des essais antérieurs.

Dans une troisième partie, nous proposerons des méthodes et des modèles pour la prédiction des capacités au transport des différents engins testés.

Enfin, nous tirerons les conclusions et suggestions qui en découlent.

Ce présent travail se veut comme une contribution à la gestion optimale des systèmes agricoles mécanisés dans les Hauts de l'Ouest de La Réunion.

PREMIERE PARTIE :

**MILIEU - CONTEXTE DES
EXPLOITATIONS D'ELEVAGE
DANS LES HAUTS**

INTRODUCTION

Toute action pour le développement agricole ne peut être efficace qu'à partir d'une bonne connaissance du milieu tant naturel que social et aussi des performances techniques et économiques des agriculteurs.

L'enquête effectuée par J. LEPETIT (1989), à laquelle nous faisons référence, nous permet d'avoir une vue sur les besoins en mécanisation de montagne dans les exploitations à vocation élevage principalement des Hauts de l'Ouest.

I- PRESENTATION DES CONTEXTES PHYSIQUE ET HUMAIN

1.1. Localisation

L'île de La Réunion est située dans l'Océan Indien à 800 Km de Madagascar et 200 Km de l'île Maurice, par 21°07 de latitude Sud et 55°32 de longitude (Figure 1).

Elle constitue la partie émergée d'un énorme stratovolcan (7.000 m de hauteur), formé de deux gros massifs volcaniques en bouclier, le Piton des Neiges et le Piton de la Fournaise.

L'île culmine à plus de 3.000 m d'altitude et couvre une superficie de 2.512 Km².

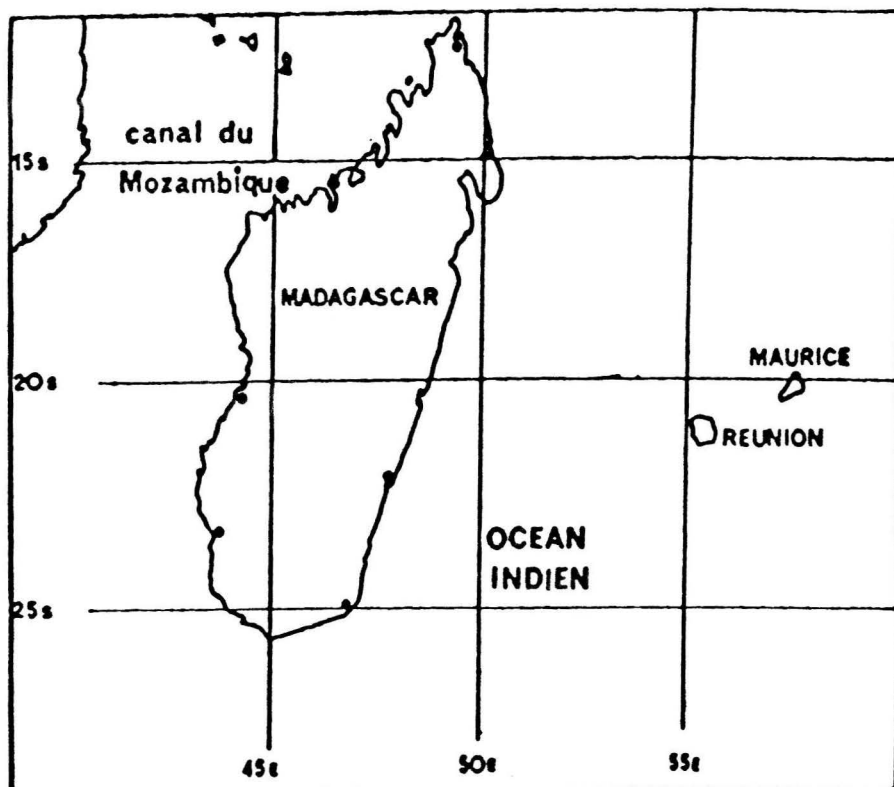


Figure 1 : Situation de La Réunion dans l'Océan Indien

1.2. Climat

L'Ile est soumise à un climat tropical austral à deux saisons :

- une saison fraîche et sèche de Mai à Novembre, propice aux alizés du Sud-Est ;
- une saison chaude et humide de Décembre à Avril, influencée par les courants de mousson de Nord-Est.

a) Pluviométrie

L'influence océanique, conjuguée aux vents dominants d'Est ainsi qu'au relief, crée une opposition entre les Hauts et le littoral d'une part, et entre la côte au vent (2.000 à 8.000 mm/an) et la côte sous le vent (600 à 2.500 mm/an) d'autre part.

Schématiquement, il pleut plus dans la zone orientale, et ce d'autant plus que l'on s'éloigne des côtes.

Les Hauts (Cf. Figures 2) restent surtout caractérisés par une longue saison sèche qui s'étend de Mai à Novembre, entraînant un arrêt de végétation.

b) Température

Les températures moyennes annuelles sont peu élevées en regard de la position géographique (environ 24°C sur le littoral). Elles diminuent régulièrement avec l'altitude (0,6 à 0,7°C par 100 m). Ceci conduit à une distinction climatique entre la plaine littorale jusqu'à 600 m, aux températures moyennes supérieures à 20°C, et le centre de l'Ile.

1.3. Végétation

La végétation est nettement zonée en ceintures subcirculaires, s'étageant en fonction de l'altitude et de l'exposition.

Les formations végétales naturelles occupent principalement les Hauts, les ravines et le littoral Ouest sec.

La végétation forestière s'étend dès 700 m dans l'Est. Dans l'Ouest s'étend une bande littorale sèche couverte d'une savane semi-aride herbeuse ou arbustive.

Entre 1.200 et 2.000 m s'étend tout d'abord une zone à Acacia, sujette au défrichement pour l'installation de nouvelles zones prairiales, puis l'étage caractéristique à tamarins des Hauts.

1.4. Sols

Actuellement, les principaux supports des cultures sont constitués par les andosols et sols andiques (Est, Hauts de l'Ouest et du Sud), les sols ferrallitiques (Nord et Sud) et les sols brunifiés (Ouest et Sud).

Les sols colluvionnés et caillouteux des Cirques, souvent andiques ou bruns, constituent un substrat agricole à part, très morcelé, discontinu, très varié et présentant des contraintes énormes pour la mise en culture.

Figure2 : Pluviométrie et Température de l'année 1990

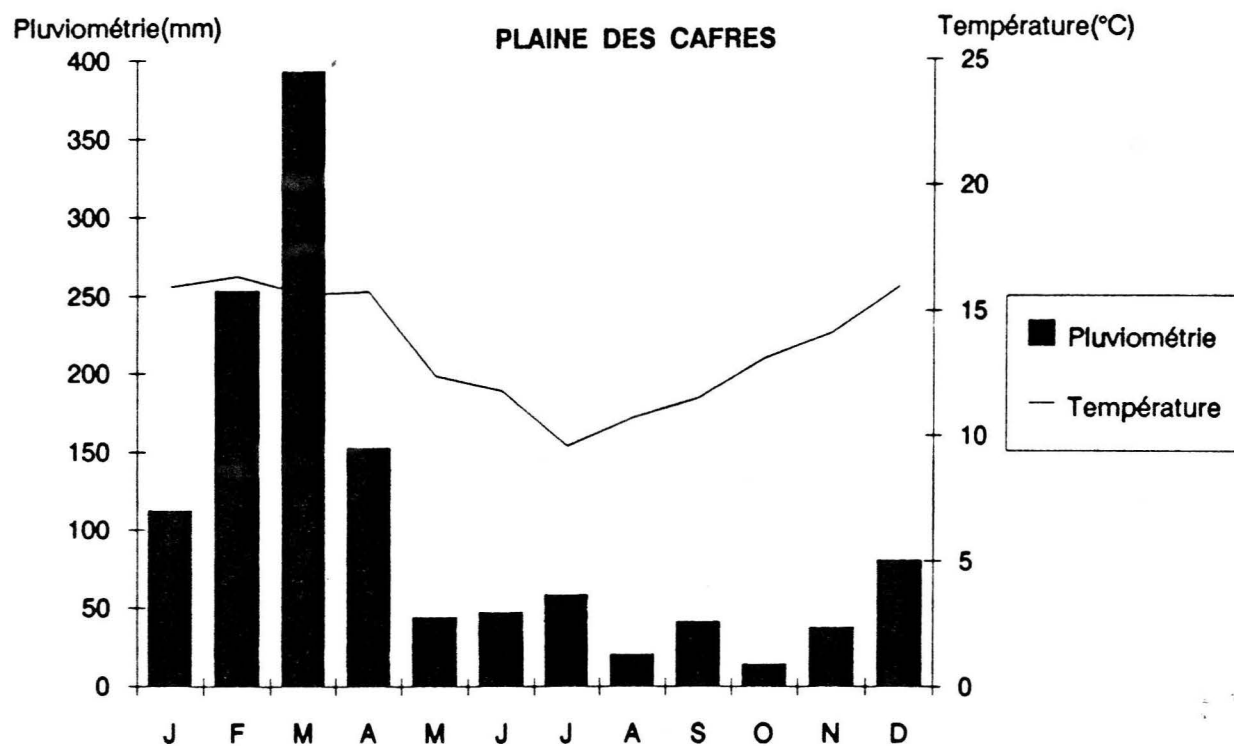
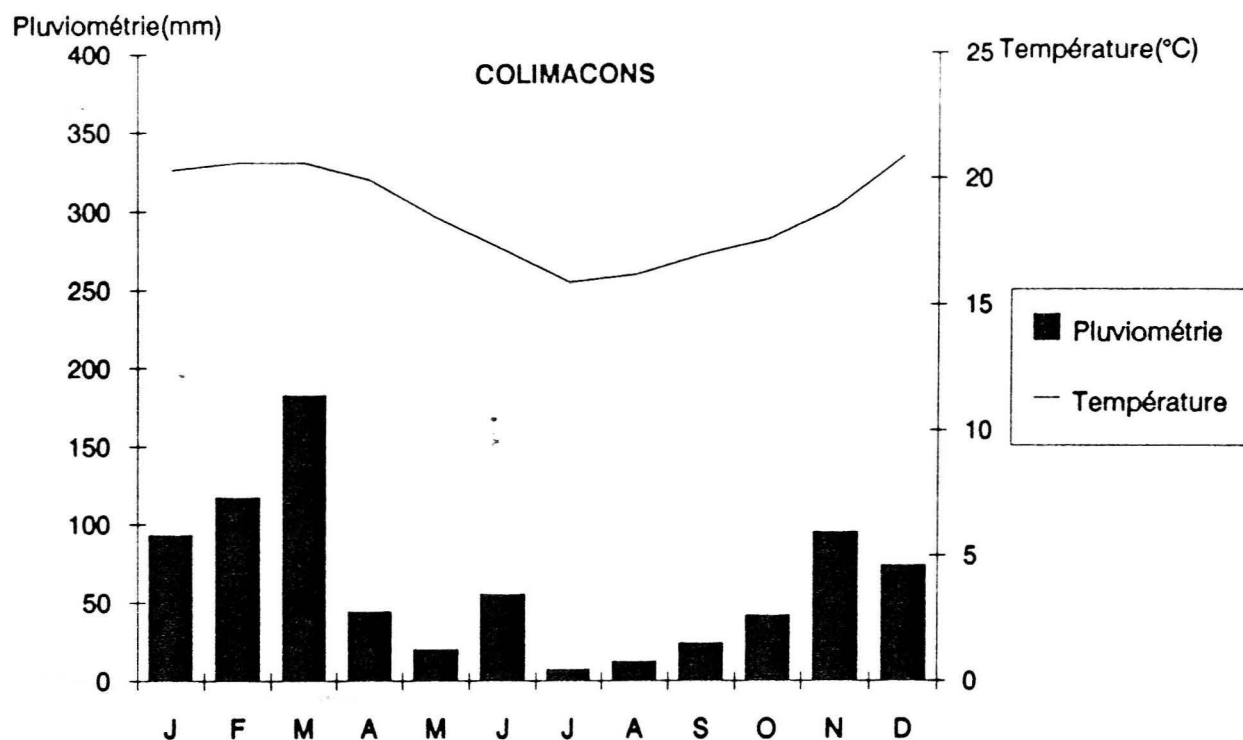
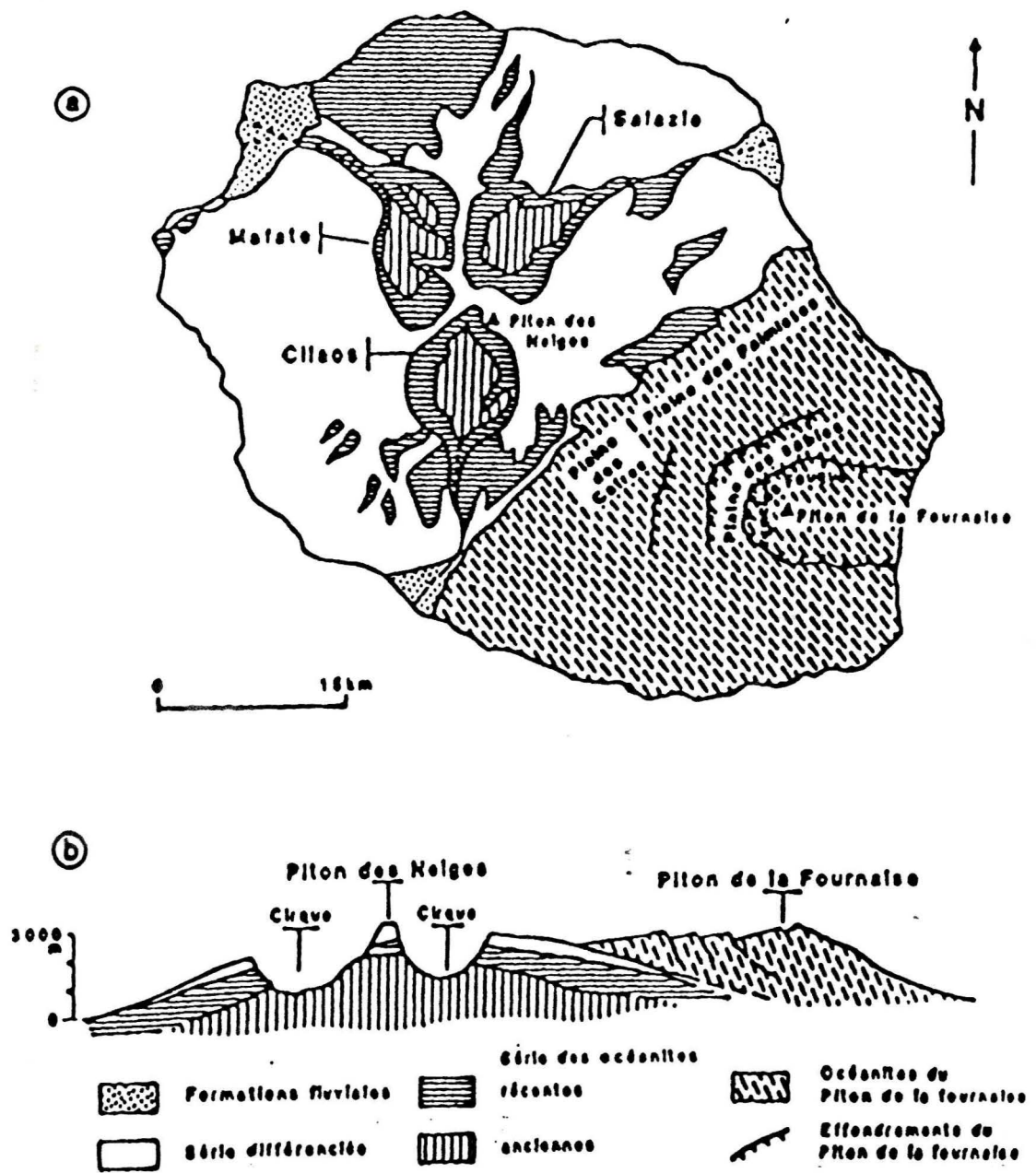


Figure 3 : Carte et coupe géologiques simplifiées



Les sols peu évolués sur les alluvions récentes à galets et les sols argileux sur alluvions fines (souvent hydromorphes) occupent des zones marginales au plan de la mise en valeur agricole.

Les Hauts apparaissent uniquement caractérisés par des andosols souvent très meubles et donc facilement érodables. De plus, les fortes pierrosités rencontrées dans certaines zones constituent un obstacle important à la mécanisation.

1.5. Production agricole

La canne à sucre domine largement dès le littoral jusqu'à 1.000 m selon les versants. La superficie moyenne des exploitations est de 3,17 ha. La production de sucre est la principale spéculation. Malgré les contraintes (morcellement du parcellaire, pente, ...), c'est le système de culture le plus mécanisé actuellement, particulièrement de façon coopérative (SICA, CUMA, ...).

D'autres spéculations s'associent au système cannier dans l'Est : la vanille et les fruitiers tropicaux. Dans le Sud et le Nord se développent les cultures légumières.

La seconde culture est le Géranium, plante à parfum qui jusque là, fournit l'essentiel des ressources des Hauts de l'Ouest.

On note le développement récent mais significatif du secteur élevage, en concurrence avec le géranium dans les zones d'altitude de l'Ouest (1300-1500 m), dans les Hauts du Sud et dans les zones de Plaine.

On note également le déclin de quelques plantes "traditionnelles" (tabac, vétéver, ...).

1.6. Population

D'origine ethnique très variée, la population réunionnaise atteindra bientôt 600.000 habitants. C'est une population jeune (45 % des individus ont moins de 20 ans).

La densité moyenne atteint 240 habitants/km². En réalité, cette population est mal répartie. En effet, la majorité des villes sont situées sur le littoral et les proches hauteurs, tandis que les Hauts et l'intérieur restent peu peuplés.

En 1981, la population active agricole représentait environ 7 % de la population totale, dont 4 % était chefs d'exploitation (Source RGA-DAF).

II- APERCU SUR QUELQUES EXPLOITATIONS D'ELEVAGE DES HAUTS DE LA REUNION

La détermination des caractéristiques des exploitations doit permettre de dégager les critères pertinents pour expliquer les principaux types de systèmes de production.

Au cours de ce travail, il sera fait référence à l'enquête effectuée par J. LEPETIT. Cette enquête porte sur une cinquantaine d'exploitations s'installant dans des élevages à viande ou laitiers. Elle a pour but d'analyser le système de production et le fonctionnement de ces exploitations afin d'identifier quelques engins de montagne susceptibles de répondre aux besoins en mécanisation de différents cas d'exploitation. Il s'agit d'un petit chenillard (le Moufflon), du Bucher et d'un gros motoculteur.

2.1. Détermination et compréhension du choix des techniques

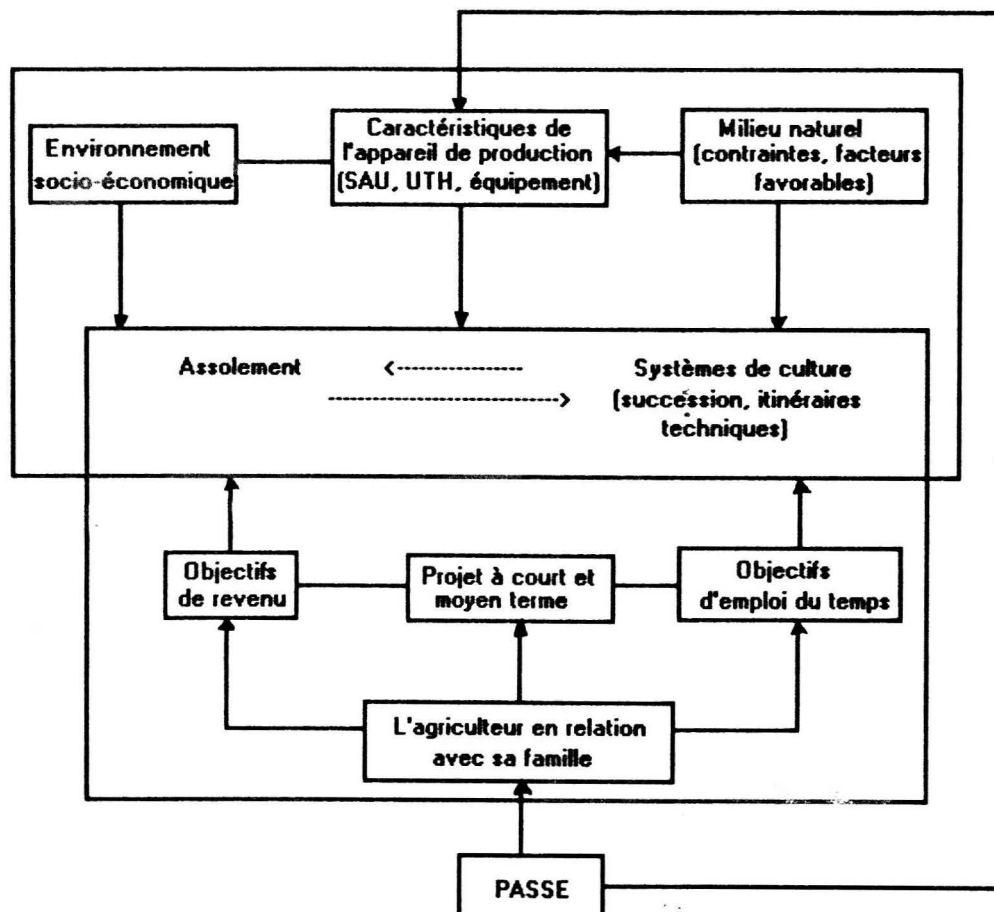
OSTY a montré que c'est à partir de la vision qu'ont les agriculteurs de leurs objectifs, de leur situation, que l'on peut comprendre leurs décisions et leurs besoins. On aboutit à un schéma de prise de décision dégagant la cohérence des choix de l'agriculture (Cf. Schéma ci-après).

D'une part, ces décisions dépendent des objectifs et projets de l'agriculteur et de sa famille ; d'autre part, elles intègrent contraintes et facteurs favorables provenant de l'appareil de production du milieu physique et de l'environnement socio-économique, qui restreignent ou élargissent la gamme des choix possibles.

Il faut noter que la connaissance de l'évolution poussée de l'exploitation et des raisons invoquées par l'agriculteur pour expliquer celle-ci, sont nécessaires pour cerner les objectifs de la famille.

Mais, une simple description et compréhension des choix des techniques pratiquées ne suffit pas pour proposer des améliorations. Il faut en outre être en mesure de juger de leur efficacité, c'est-à-dire voir si elles permettent au système d'exploitation de se reproduire. Ceci implique, pour être rigoureux, une connaissance de l'état initial (avant production), et de l'état final (après production) du système.

SCHEMA DE FONCTIONNEMENT SIMPLIFIE (CAPILLON A., MANICHON M., 1978)



2.2. Présentation des exploitations enquêtées

L'enquête effectuée par J. LEPETIT (1989) a permis de présenter succinctement des exploitations à vocation élevage dans les Hauts.

Un questionnaire a été réalisé autour de six paramètres caractérisant l'exploitation :

- Schéma des exploitations,
- Méthodes de travail,
- Tâches à mécaniser,
- Type d'exploitant,
- Niveau de mécanisation,
- Possibilité de financement.

Rappelons qu'une cinquantaine d'exploitations sur diverses régions (Plaine des Palmistes, Plaine des Cafres, Hauts de Saint-Joseph, Hauts de l'Ouest) ont pu être visitées.

L'analyse des données a permis de faire ressortir quatre cas-types où l'utilisation de la mécanisation de montagne est nécessaire. Ces quatre exploitations sont toutes situées dans les Hauts de l'Ouest, région peu mécanisée et présentant une topographie très accidentée, mais certaines exploitations des autres régions peuvent être assimilées à ces cas.

2.2.1. Cas N° 1

a) Présentation de l'exploitation

Il s'agit d'une petite exploitation de dix à quinze hectares au parcellaire groupé mais très morcelé (parcelles d'un demi-hectare). La principale spéculation est l'élevage laitier intensif, mais il y a également au plus un hectare de maïs et de canne à sucre.

Le relief est moyennement accidenté : la moitié des parcelles ont une pente inférieure à 25 %.

Le niveau de production du troupeau est bon ; les performances de ses vaches laitières en témoignent (4.200 Kg/vache/an) et l'intensification est bien menée (3 UGB/ha). L'objectif est d'atteindre 25 vaches et 5.000 litres de lait.

Le principal goulot d'étranglement de cette exploitation est l'importance de la main d'oeuvre (3 UTH), due aux divers travaux à réaliser :

- transport,
- récolte de fourrage,
- épandage d'engrais,
- épandage de fumier et lisier (non utilisé actuellement),
- travail superficiel du sol.

b) Besoins en mécanisation spécifique

La puissance nécessaire pour tous ces travaux ci-dessus n'a pas besoin d'être importante (30 à 40 ch). Par contre, un matériel adapté à la pente est obligatoire.

En substituant la réalisation manuelle de travaux par une chaîne de mécanisation, les économies de temps peuvent être chiffrées comme suit :

	MANUEL	MECANISE
Affouragement	$2 \text{ p} \times 4 \text{ h} \times 300 \text{ j} = 2.400 \text{ h}$	$1 \text{ p} \times 2 \text{ h } 30/\text{j} \times 300 \text{ j} = 750 \text{ h}$
Renouvellement de prairie	$1 \text{ p} \times 8 \text{ h} \times 30 \text{ j} = 240 \text{ h}$	$1 \text{ p} \times 8 \text{ h}/\text{j} \times 5 \text{ j} = 40 \text{ h}$
Epandage d'engrais	$1 \text{ p} \times 10 \text{ t} \times 16 \text{ h/t} = 160 \text{ h}$	$1 \text{ p} \times 10 \text{ t} \times 1 \text{ h/t} = 10 \text{ h}$
Transp. divers		50 h
Broyage		20 h
Epandage lisier		30 h
TOTAL	2.800 h	900 h

p = personne ; t = tonne ; j = jour ; h = heure

On peut estimer à environ 2.000 heures le temps économisé par la mécanisation (l'équivalent d'une UTH).

Une mécanisation polyvalente à partir du Mouflon conviendrait bien à cette exploitation. Elle permettrait un gain d'une UTH qui pourrait être valorisée par un meilleur suivi du troupeau et une augmentation du nombre de vaches ; les parcelles pourraient être davantage intensifiées.

2.2.2. Cas N° 2

a) Présentation de l'exploitation

Il s'agit d'une exploitation moyenne (autour de 35 ha), au parcellaire groupé autour du bâtiment mais très morcelé (1,5 ha en moyenne).

L'élevage laitier est la principale activité de cette exploitation.

La principale caractéristique de cette exploitation est la présence de pentes très importantes : sur les 35 hectares exploités, seuls 4 hectares sont mécanisables avec un tracteur conventionnel. Le reste varie de 15 à 70 % de pente. Tous les travaux sont effectués manuellement, ce qui nécessite 3,5 UTH.

Le troupeau s'élève à 32 vaches et l'objectif est d'atteindre progressivement 45 vaches si une intensification des parcelles est possible par l'affouragement en vert.

b) Besoins en mécanisation spécifique

D'une manière générale, l'agriculteur se heurte au problème de transport qui a lieu dans des conditions de pentes importantes :

- épandage d'engrais (30 tonnes par an),
- épandage de fumier (80 tonnes par an),
- transport de boutures de Kikuyu
- transport d'ensilage
- etc...

Dans l'hypothèse d'une substitution des travaux réalisés manuellement par une chaîne de mécanisation qui répondrait à tous ces problèmes, son temps d'utilisation au cours de l'année se répartirait ainsi :

- Transport	350 heures
- Travail du sol	25 heures
- Broyage	25 heures
- Affouragement en vert	300 heures
- Epandage d'engrais	50 heures
- Epandage de fumier	50 heures
TOTAL	800 heures

La mécanisation de ces opérations devrait libérer 1.600 heures de main d'oeuvre. En contrepartie de cet investissement, elle devrait apporter un certain nombre de changements dans l'exploitation, entre autre une augmentation du chargement.

2.2.3. Cas N° 3

a) Présentation de l'exploitation

Cette exploitation de 23 hectares, en phase d'installation a une SAU de 18 hectares. Son activité principale est l'élevage laitier.

Le parcellaire, assez grand (en moyenne 2 ha) est groupé et la pente est moyenne : 8 hectares concernent des pentes supérieures à 15 % ; 3 ha seulement ont des pentes supérieures à 40 %.

Sont présents sur l'exploitation 2,2 UTH dont 0,2 UTH non permanent.

Le troupeau laitier s'élève à 14 têtes avec une performance de 3.800 litres/vaches/an. L'objectif étant de monter progressivement à 30 vaches laitières et 5.000 l.

Certaines opérations sont réalisées sous forme communautaire ; à savoir l'épandage d'engrais, le broyage et les ensilages par la CUMA, l'épandage de lisier par l'AFP.

b) Besoins en mécanisation

L'éleveur estime ne pas avoir de problèmes de mécanisation. Il préfère privilégier, dans un premier temps, l'augmentation de son cheptel. Mais étant donnés les objectifs ci-dessus, cette exploitation devra se mécaniser pour l'affouragement en vert, la distribution d'ensilage et l'entretien des pâturages. Deux solutions de mécanisation sont envisageables :

- la mécanisation classique avec un tracteur de 50 à 60 ch pour les travaux quotidiens plus une intervention des formes coopératives pour l'entretien des pâturages en zone de forte pente (épandage, broyage) ;
- la mécanisation de montagne avec le Mouflon.

2.2.4. Cas N° 4

a) Présentation de l'exploitation

L'élevage allaitant de cette exploitation valorise 27 hectares de Kikuyu et 6 hectares de Dactyle. Le parcellaire est regroupé. Le morcellement est très faible (10 parcelles au total).

La pente est plutôt moyenne à faible (15 à 40 %). L'effectif du troupeau s'élève à 29 vaches.

b) Besoins en mécanisation

L'éleveur possède un tracteur lui permettant de mécaniser :

- l'épandage de lisier et d'engrais,
- le transport.

Cette exploitation, contrairement aux autres, n'a pas un besoin énorme de mécanisation. L'ensemble des opérations à mécaniser nécessite environ 150 heures de travail : les animaux sont en pâturage toute l'année.

La solution pour ce type d'élevage, serait plutôt l'utilisation collective d'un matériel spécifique pour l'épandage d'engrais et l'entretien des prairies. Dans ce cas, un tracteur classique ou de montagne pourrait être acquis par plusieurs éleveurs ayant des exploitations semblables.

III- APERCU SUR LE MATERIEL ADAPTE AUX ZONES DE MONTAGNE

3.1. Différents matériels et leurs caractéristiques

Les problèmes de la mécanisation des travaux agricoles en montagne ont été posés en France dès les années 1950.

Ils concernent principalement les fonctions de transport et de récolte de fourrage, voire de travaux du sol, dans les zones où les pentes supérieures à 35 % prédominent (A. CAUMONT).

Dans la genèse de cette catégorie de matériel spécifique, figurent la motofaucheuse et le treuil qui d'ailleurs, se sont ensuite rapidement répandus et constituent toujours des solutions de mécanisation assez performantes.

Cependant, la plupart des industriels de la machine agricole ont négligé le marché des "tracteurs" de montagne, au profit de celui du matériel de plaine.

En effet, les contraintes financières de petites exploitations de montagne représentaient un obstacle majeur au développement d'une mécanisation en grande série.

Cependant, quelques industriels spécialisés dans la fabrication -devenus rares aujourd'hui- mettent sur le marché une gamme de produits satisfaisant pour partie aux exigences techniques. Ces matériels se caractérisent par une ou plusieurs des qualités suivantes :

- adhérence élevée,
- centre de gravité bas,
- poids minimum,
- maniabilité.

La contrainte de pente exclut formellement les engins à deux roues motrices.

Notons qu'actuellement ces produits trouvent un débouché dans les parcs, jardins et l'entretien de l'espace vert (environnement, autoroutes...).

Parmi ces matériels dont font partie ceux de notre étude figurent entre autre (voir ci-dessous) :

Matériels	Principales fonctions	Principaux avantages	Principaux inconvénients
Le Treuil	. Transport . Traction d'instruments aratoires	. Consommation minimum d'énergie	- mise en oeuvre difficile
La Motofaucheuse	. Fauche de fourrage . Fanage	. Accès aux fortes pentes	. Maniement pénible . Performances de traction faible
L'autofaucheuse	. Fauche . Fanage	Accès aux fortes pentes (60 - 70 %)	Très cher
Le Transporteur	. Transport . Epandage fumier et lisier . Fenaion	. Accès aux fortes pentes (60 %) . Polyvalent	Très cher
Le Tracteur de montagne	Polyvalent	. Accès aux fortes pentes (60 %)	. Garde au sol faible
Le Tracteur classique 4 RM	Polyvalent	- Grande série - Robustesse	. Limité à 25 - 30 % maxi
Les chenillards	. Entretien des prairies . Travaux du sol	Accès aux très fortes pentes	. Très cher

Source : Mécanisation de montagne (A. CAUMONT, 1982)

Notons au passage qu'en matière de machinisme approprié à la montagne, les constructeurs français sont pratiquement absents (excepté la production de motofaucheuse).

Le matériel proposé (voir Annexe 1), s'il satisfait pour partie aux contraintes techniques, souffre d'abord d'un prix élevé et ensuite d'une grande spécialisation, obligeant à combiner plusieurs engins automoteurs.

3.2. Coût d'utilisation dans les Hauts de La Réunion

Plutôt que de s'intéresser au prix de ces matériels, nous allons observer non seulement le coût d'utilisation du matériel, simulé par J. LEPETIT et J.M. PAILLAT selon le principe du BCMEA.

Ces différents coûts présentés dans l'annexe 2, concernent :

- le Mouflon et ses outils,
- le Bucher TM850 et ses outils,
- l'utilisation du Bucher en CUMA,

mais aussi l'établissement d'une comparaison entre l'utilisation d'un tracteur Mouflon avec ses outils et un travail manuel (voir Annexe 3).

CONCLUSION

Cette brève présentation des exploitations permet déjà de se rendre compte qu'elles ont toutes en commun un besoin de mécanisation spécifique mais elles connaissent cependant un contexte différent.

L'introduction d'un matériel de montagne engendrera : dans le cas 1, un gain de temps tandis que dans le cas 4, elle permet une diminution de la main d'oeuvre.

Dans l'hypothèse du choix d'un matériel de montagne, les travaux qui vont lui être demandés seront différents selon les exploitations.

Dans le cas 1, la récolte en vert est le problème majeur à résoudre.

Dans le cas 4, l'épandage d'engrais mécanique est le but recherché.

Il existe un besoin de mécanisation donc un marché lié à l'intensification et à l'accroissement des exploitations des Hauts et à la nécessaire diminution des coûts de production.

Mais la précarité de l'élevage dans ces zones difficiles fait que dans la réalité, le choix du matériel de montagne reste limité.

DEUXIEME PARTIE

**NOTION DE GLISSEMENT -
CHAINE DE MESURES**

APPLICATION

I- REPARTITION DE LA PUISSANCE DEVELOPPEE PAR LE TRACTEUR ET NOTION DE GLISSEMENT

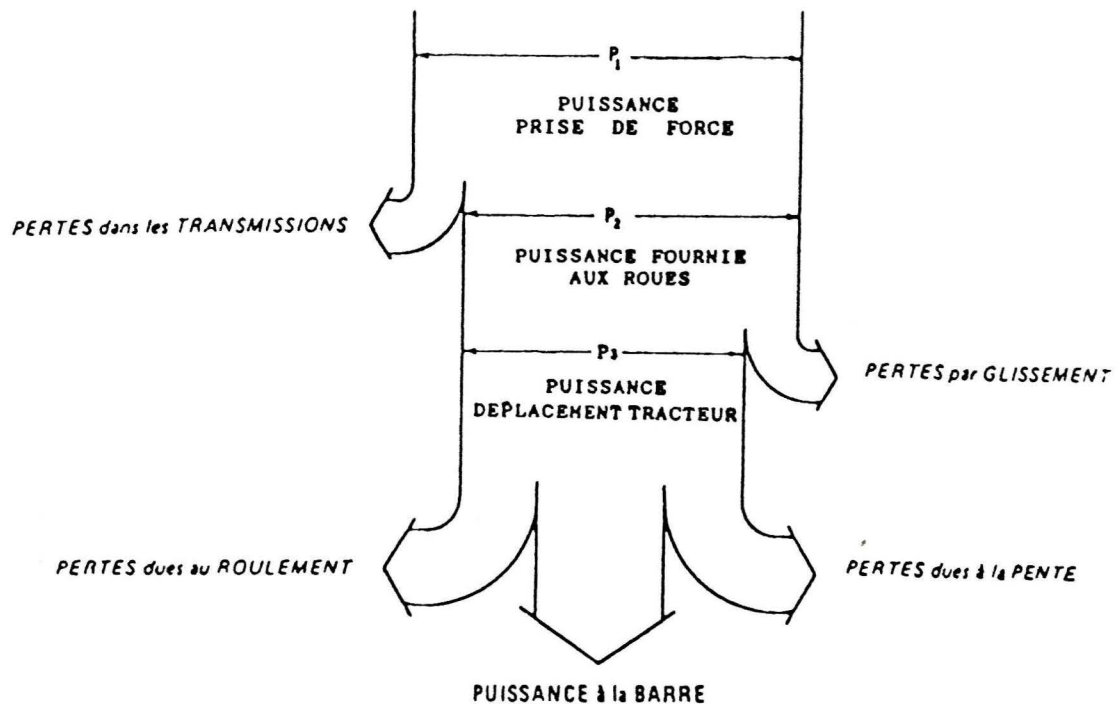


Figure 4 : Schéma des pertes de PUISSANCE entre le MOTEUR et la BARRE d'un TRACTEUR (Source CNEEMA, Etudes N° 361)

1.1. Puissance prise de force

C'est la puissance fournie à l'arbre de transmission extérieure de puissance, la prise de force. Elle est déterminée par la relation :

$$P_1 = C\omega$$

C = couple (Nm)
 ω = Vitesse de rotation (rad/s)
 P_1 = Puissance (W)

1.2. Puissance fournie aux roues motrices

C'est la partie de la puissance prise de force amputée des pertes dans les transmissions. Ces pertes sont difficiles à mesurer ; elles sont estimées entre 4 et 6 %.

Elle est donnée par la relation :

$$P_2 = P_1 \times 0,95$$

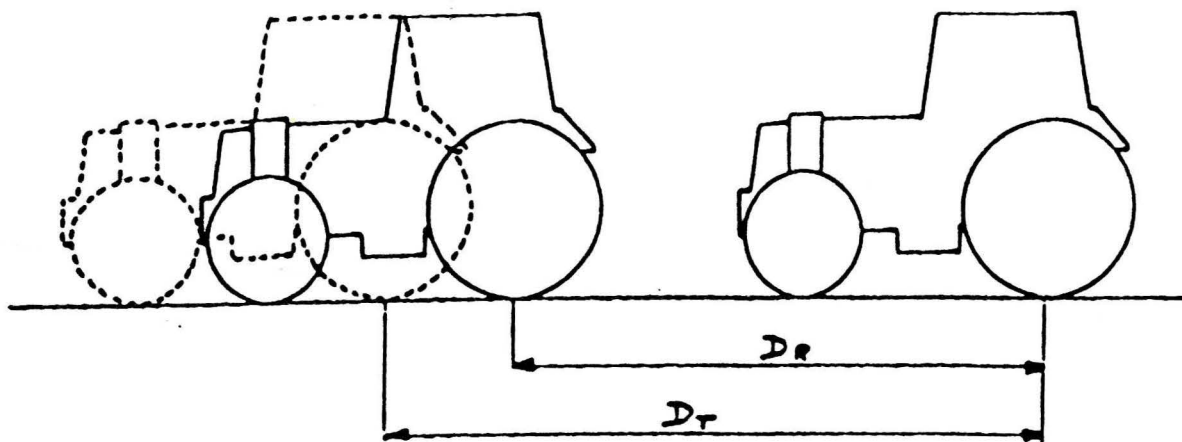
P_2 : Puissance fournie aux roues

P_1 : Puissance prise de force

1.3. Pertes par glissement

1.3.1. Le glissement

Lorsqu'une roue motrice d'un tracteur a fait un tour complet, il est très rare que la distance parcourue soit égale à la circonférence (πd).



D_R = distance réelle

D_T = distance théorique

Le glissement peut être défini comme la variation relative de distance parcourue pour un même nombre de tours de roue. Il peut être exprimé en pourcentage.

Le glissement est étroitement fonction :

- de la nature du terrain (voir figure 5)
 - * cohésion du sol
 - * cisaillement
 - * type de sol
 - * humidité du sol
 - * état de surface
- des pneumatiques (voir figure 6)
 - * diamètre
 - * largeur
 - * pression
 - * usure
 - * profil des crampons
- de la charge sur les roues
 - * poids du tracteur
 - * transferts de charges
 - * masses d'alourdissement

Le glissement peut être mesuré de diverses façons, en se basant sur la distance parcourue, la vitesse d'avancement, ou le nombre de tours de roue :

$$G (\%) = (D_T - D_R) 100 / D_T$$

D_T : distance théorique

D_R : distance réelle

$$G (\%) = (V_T - V_R) 100 / V_T$$

V_T : vitesse théorique

V_R : vitesse réelle

$$G (\%) = (N_R - N_T) 100 / N_R$$

N_T : nombre de tours théorique

N_R : nombre de tours réel

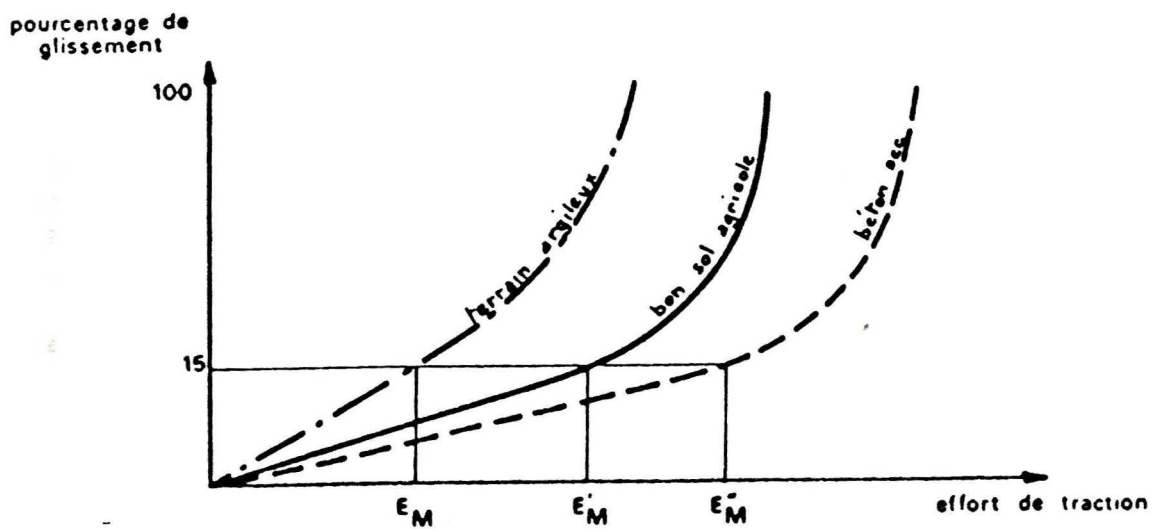


Figure 5 : Rapport entre glissement et effort de traction (Source CNEEMA)

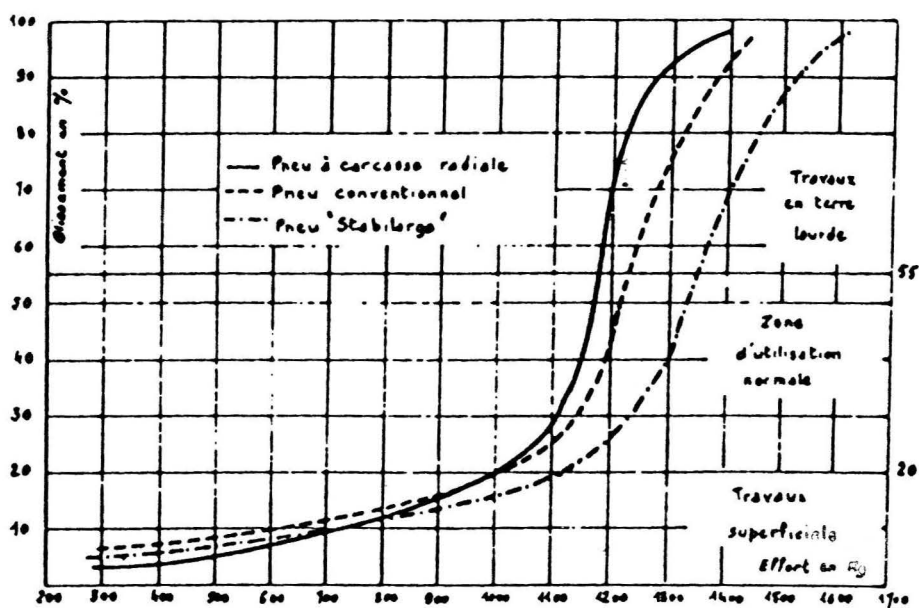


Figure 6 : Glissement pour trois types de pneumatiques et différents travaux (Source CNEEMA)

Les effets du glissement se traduisent par non seulement une perte de trajet mais aussi par une perte de puissance P_G .

$$P_G = P_2 \times G$$

P_2 : Puissance fournie aux roues

G : Glissement

On peut donc déduire la puissance P_3 , nécessaire à l'avancement du tracteur :

$$P_3 = P_2 - P_G$$

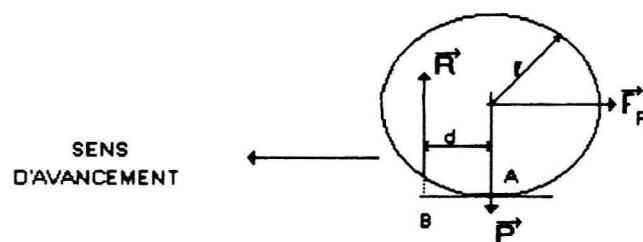
1.3.2. Glissement et effort de traction

Pour un tracteur de poids donné, se déplaçant sur un sol donné, le glissement varie dans le même sens que l'effort de traction (d'après le CNEEMA). En dessous d'un certain seuil appelé "effort de traction maximum admissible" (E_M), le glissement reste proportionnel à l'effort. Au-delà de ce seuil, le glissement croît beaucoup plus vite. C'est ce que traduit la figure 5.

Le glissement fait perdre au tracteur une quantité de puissance non négligeable, puissance qui se trouve déjà diminuée en raison des pertes par frottement et par roulement. Le glissement signifie donc, en plus d'une usure des pneumatiques, une perte de temps et de combustible, pour un travail donné.

1.3.3. Le roulement

Pour déplacer un engin qui roule, il faut un certain effort. Plus l'engin est lourd, plus l'effort sera important.



Une roue de poids P , en roulant, subit une réaction du sol $R = P$ située à une distance d en avant de l'axe de la roue. Cette distance d varie suivant la nature du terrain et les caractéristiques des pneumatiques (dimensions, pression, usure). Le couple $d.R$ s'oppose à l'avancement. Il est égal à une force de roulement FR qui s'exercerait à l'axe de la roue, c'est-à-dire à une hauteur égale au rayon de la roue r .

Aussi : $d.R = r FR$

d'où $FR/R = d/r$

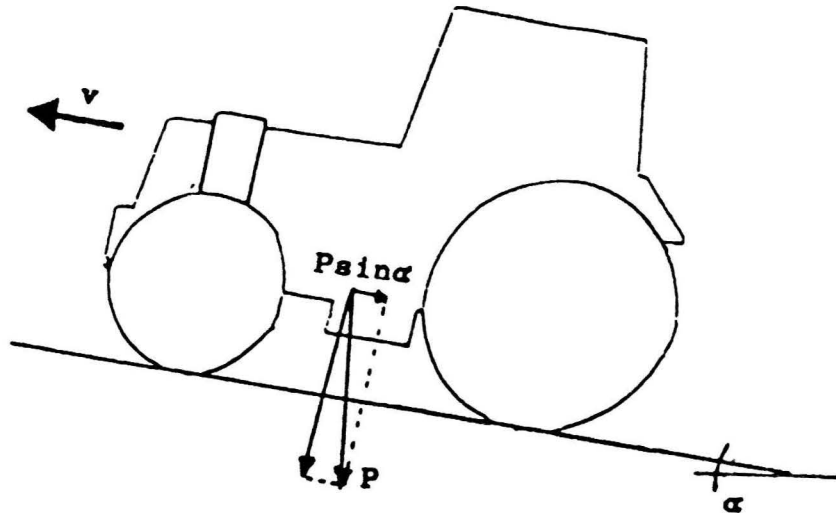
Le ratio FR/R ou d/r est appelé coefficient de résistance au roulement (R_P).

La perte de puissance P_R due au roulement est donnée par la relation :

$$P_R = (P + T) g V R_R$$

g : accélération de la pesanteur
 P : poids du tracteur
 T : transfert de charge
 V : vitesse d'avancement

1.4. Les pertes dues à la pente



En région de fortes pentes, ces pertes, doublées de celles dues au glissement, sont non négligeables. En effet, en travaillant sur une pente, le tracteur doit vaincre une résistance due à la gravité. Cela se fait au détriment de la puissance développée, c'est donc une autre source de pertes.

La perte de puissance P_P est donnée par la relation :

$$P_P = (P + T) g V \sin \alpha$$

P : poids du tracteur
 T : transferts
 α : inclinaison

V : vitesse d'avancement
 g : accélération de la pesanteur

1.5. Puissance à la barre

C'est la puissance réellement disponible aux tractions à la suite des différentes pertes. Elle est donnée par la relation :

$$P_B = P_3 - P_R - P_P$$

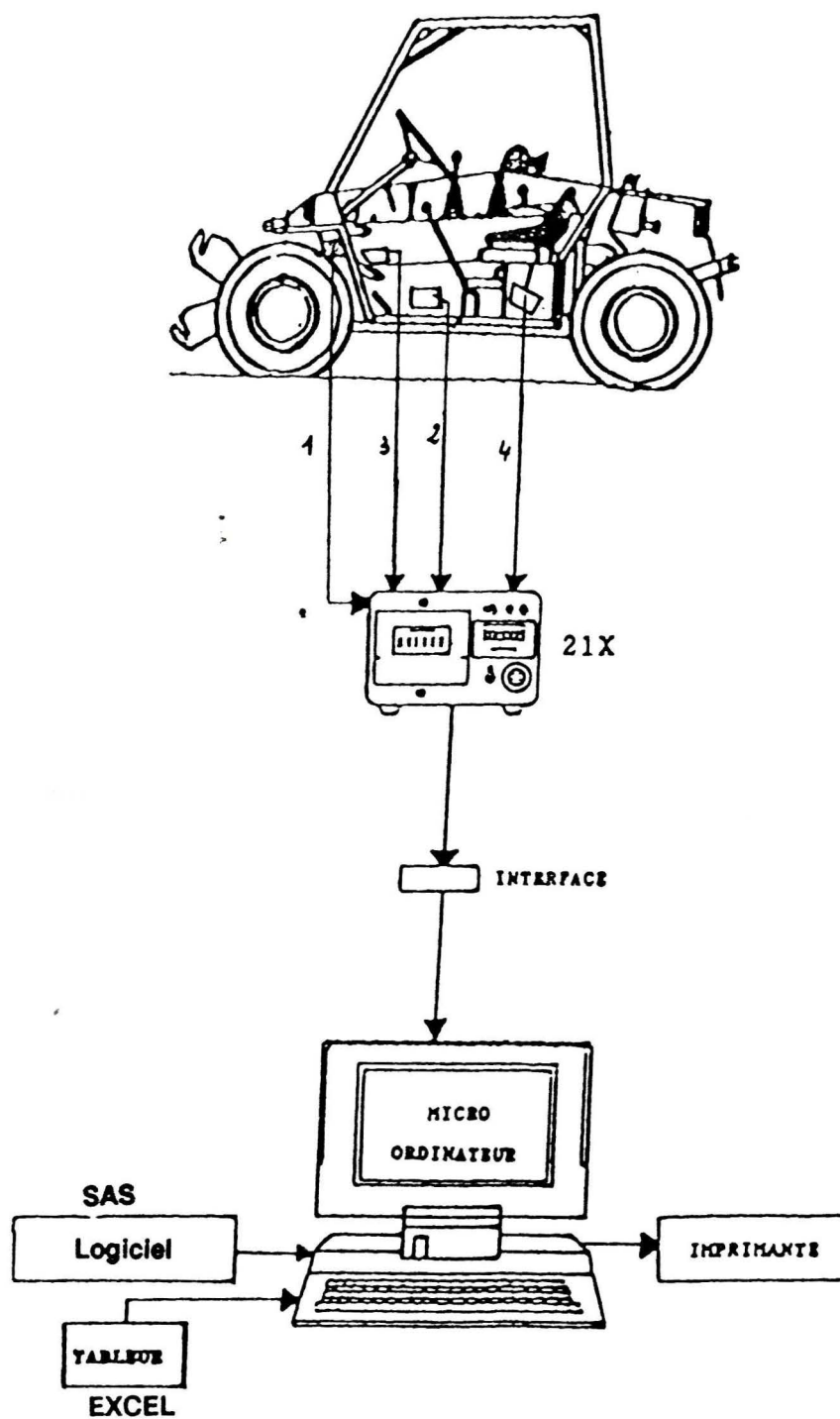


Figure 7 : Schéma de la chaîne de mesures CEEMAT

CAPTEURS UTILISES POUR LES ESSAIS

- | | |
|-------------------------|------------------|
| 1 - VITESSE DE ROTATION | 2 - INCLINOMETRE |
| 3 - DEBITMETRE | 4 - RADAR |

II- PRESENTATION DE LA CHAÎNE DE MESURE DE TERRAIN

Le CEEMAT, à la recherche de références sur la mécanisation, a pour objectif, depuis quelques années déjà, la mise au point d'une chaîne de mesures de terrain complète pour cerner l'environnement de travail de la machine, et l'évolution de ses capacités au champ.

Plusieurs études ont déjà été faites dans ce domaine, en l'occurrence celles de GARON I. (1990) et JACQUIN E. (1990).

2.1. Les composantes de la chaîne de mesures

La chaîne de mesures CEEMAT est un ensemble de capteurs reliés électriquement à une centrale d'acquisition des données (figure 7).

2.1.1. Les capteurs

Ils sont classés en deux types :

a) Les capteurs analogiques

Ceux-ci donnent une information qui est généralement un courant variable. Ce dernier suit de façon analogique la variation de la grandeur physique mesurée.

Pour ce type de capteurs, plus on augmente la fréquence de scrutation, plus on a de mesures et meilleure est la précision. Ex. : inclinomètre, capteur d'effort...

b) Les capteurs logiques ou détecteurs

Ces capteurs fonctionnent selon la loi du "tout ou rien". Ils réagissent au passage d'un repère en envoyant une impulsion. Chaque impulsion correspondant à une quantité précise de la grande mesurée. Ex. : radar, compte-tour, débitmètre...

Les deux types de capteurs ont des méthodes de mesures différentes. Supposons que l'on fasse des mesures de pente (analogique) et de débit de carburant (logique), à des intervalles de 3 secondes. Au bout de ce temps, le capteur de pente (inclinomètre) va envoyer une information indiquant la pente à cet instant précis, alors que le débitmètre va, lui, donner la quantité totale de carburant utilisée pendant les 3 secondes écoulées.

Les capteurs peuvent être actifs, c'est-à-dire qu'ils émettent un signal électrique ou passifs, dans ce cas il faut les exciter pour qu'ils émettent un signal électrique.

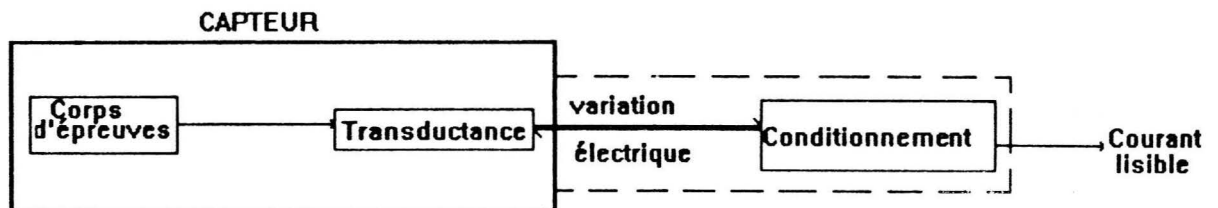


Figure 8 : Les différentes parties d'un capteur (Source Cours R. PIROT - CEEMAT-Montpellier)

2.1.2. La centrale d'acquisition

Les systèmes d'enregistrement autonomes des informations commencent à se développer ; à titre d'information, nous pouvons mentionner la "CENTRALE STARLOG" fabriquée par UNIDATA et la "CENTRALE DELTA LOGGER" proposée par DELTA-T SERVICE.

La première dispose de 8 entrées analogiques différentielles et 2 entrées logiques. Quant à la seconde, elle dispose de 60 entrées modulables (logiques, analogiques) grâce à des cartes fournies à l'achat.

L'inconvénient majeur de ces deux types de centrales, c'est qu'elles dépendent du micro-ordinateur pour leur programmation.

Celle utilisée par le CEEMAT depuis un certain temps déjà, est le 21x, un équipement fabriqué par la société CAMPBELL SCIENTIFIC Ltd (voir Figure 9). C'est un système entièrement autonome, comparable à un micro-ordinateur. Les informations provenant des capteurs sont lues et enregistrées par le biais d'un programme spécifique au type de capteur.

Le 21x a de nombreuses possibilités de programmation qui font l'objet de recherche par les utilisateurs du CEEMAT.

Le 21x peut prendre simultanément des lectures de 8 capteurs analogiques différentiels ou 16 s'il s'agit de capteurs analogiques simples et de 4 capteurs logiques. Il dispose de 3 tables pour la programmation, d'une mémoire intermédiaire et d'une mémoire finale pour le stockage des mesures.

Plus qu'une simple centrale d'acquisition, les programmes du 21x permettent l'utilisation de coefficients multiplicateurs et additionnels pour convertir les signaux émis par les capteurs en grandeurs mesurables. Il est possible d'effectuer des calculs statistiques sur les mesures ; ceci a l'avantage de rendre le dépouillement des données beaucoup plus simple et d'économiser de la place dans la mémoire.

Le 21x a surtout l'avantage d'être robuste et compact ; il est donc embarquable sur la cellule motrice. Il a une autonomie importante avec un volume de stockage de 19000 données.

2.1.3. L'unité de transfert

Le 21x peut être connecté à un module de stockage, le SM 192, et les données y sont déchargées. Cette opération a l'avantage d'être effectuée au champ pour libérer la mémoire du 21x.

Les données ainsi recueillies peuvent être transférées sur le micro-ordinateur directement à partir du 21x (interface SC 32 A) ou à partir du module SM 192 (interface SC 532).

2.2. Le traitement des données

Les données recueillies ne sont plus du domaine du 21x. Elles sont traitées par logiciel de tableur ou base de données ou statistiques ou des programmes spécifiques.

Dans notre cas, nous avons utilisé les logiciels EXCEL (Microsoft) et SAS (Statistical Analysis System).

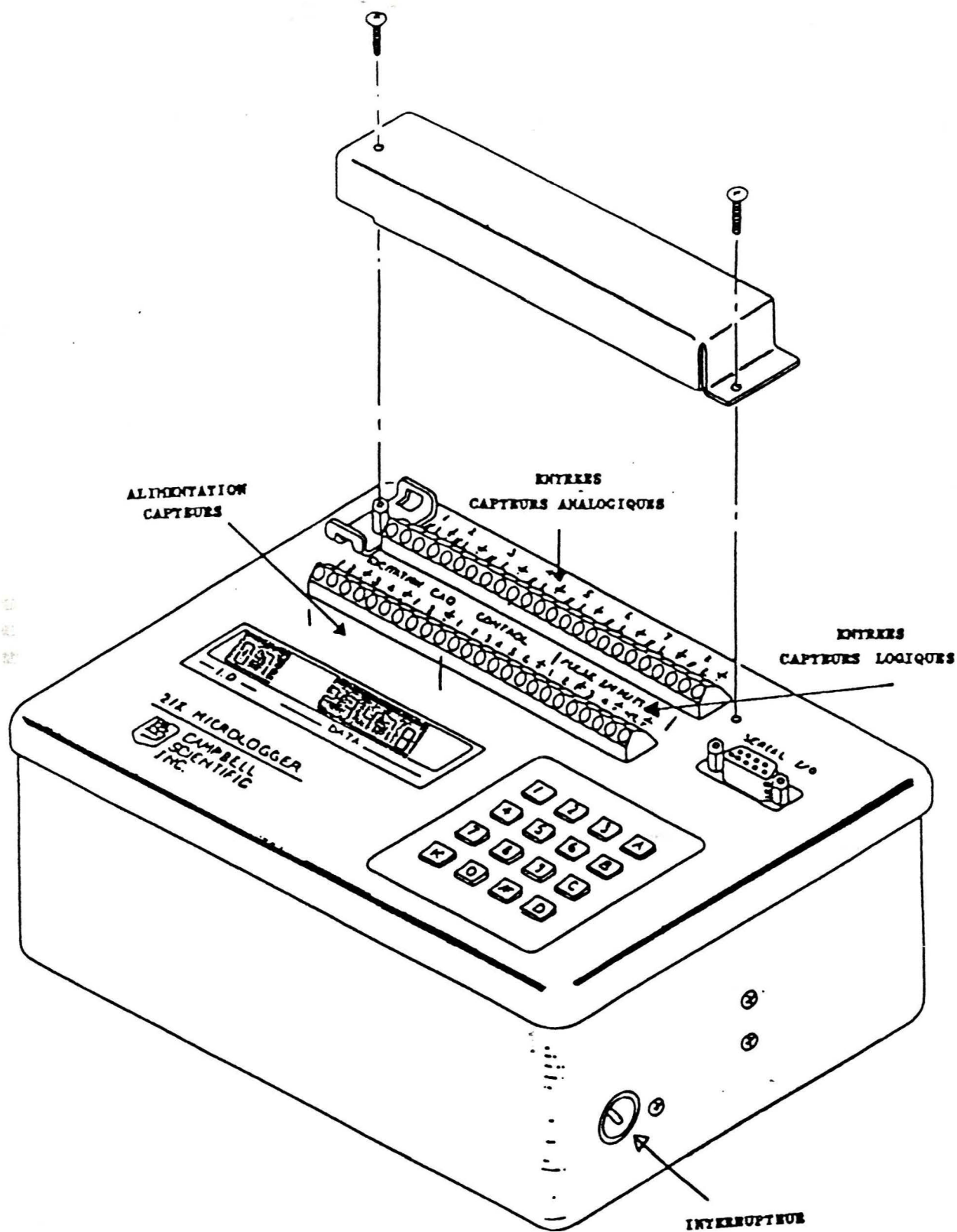


Figure 9 : La centrale d'acquisition 21X

III - LES ESSAIS ANTERIEURS DE PERFORMANCES DU MATERIEL

3.1. Historique

L'idée de la recherche de solution pour la mécanisation des exploitations de diversification et d'élevage en zones difficiles à La Réunion, par le CEEMAT, remonte à 1983.

Quelques prototypes d'engins polyvalents répondant à un cahier des charges établi à La Réunion (Mouflon 01, Mouflon 1700) ont été testés en 1983 et 1985. Les résultats furent plus ou moins satisfaisants.

En 1989, les essais se sont développés avec d'autres engins (Mouflon 2700, Bucher 850), plus puissants (27 et 30 ch) chez les éleveurs.

Notons que c'est avec ces derniers types de matériel que nous poursuivons cette étude.

3.2. Buts recherchés

Le but visé est d'arriver à proposer une solution de mécanisation dans les conditions de très fortes pentes. Pour cela, il faut évaluer les limites de pentes et la capacité de traction des engins ; toutes ces démarches ayant pour finalité la proposition d'une méthode de modélisation du comportement du matériel.

3.3. Méthodologie employée

La fiabilité des résultats et la multiplicité des facteurs variables ont tout de suite mis en cause la méthode manuelle de saisie des données à partir de matériel de mesures à lecture directe.

Depuis 1986, l'utilisation de la chaîne de mesures, décrite ci-dessus, est devenu la principale méthode employée pour l'acquisition de données.

3.4. Résultats obtenus

a) Avec le Mouflon 1700

Malgré sa faible puissance (17 ch), cet engin semble répondre en partie aux besoins de mécanisation des petites exploitations d'élevage en zones de montagne réunionnaise : il peut transporter une charge de 500 Kg jusqu'à une pente de 35 %. Mais il manque de puissance pour certains travaux, notamment la récolte des fourrages.

b) Avec le Mouflon 2700

Du point de vue technique, le matériel est très bien adapté à la topographie des exploitations d'élevage. Il est capable de franchir une pente de 45 % avec une charge d'une tonne.

A la suite des essais, une tentative de modélisation basée sur une méthode d'ajustement graphique du comportement du MOUFLON 2700 a été faite par J. LEPETIT et J.M. PAILLAT.

Quant au BUCHER, les essais ont été très limités jusque là ; c'est d'ailleurs l'une des raisons qui nous ont poussés à commencer nos essais, en premier, avec ce matériel.

3.5. Critiques

Si avec les études menées jusqu'à présent, on a pu cerner un peu la capacité de traction (du MOUFLON), en évaluant les limites de pente en fonction des charges, le problème d'une méthode de modélisation du comportement du matériel reste réel.

En effet, toutes les tentatives ébauchées jusque là se sont confrontées à un problème majeur, rendant l'ajustement des courbes quelque peu moins fiable. Il s'agit d'une concentration des points dans la zone plate de la courbe (faible et moyenne pente) et très peu de points dans la partie supérieure (pente forte à très forte).

Le modèle proposé par LEPETIT et PAILLAT dans leur étude, se basant sur une détermination graphique par tâtonnement, ne rend pas la méthodologie employée reproductible.

TROISIEME PARTIE

**CAPACITE AU TRANSPORT -
REALISATION PRATIQUE**

A- CAPACITE AU TRANSPORT : Matériels et Méthodes

I- METHODOLOGIE

1.1. Rappel des objectifs

Il est prévu dans cette étude :

- de mesurer la pente et d'évaluer les limites franchissables pour un engin donné,
- de calculer la perte d'adhérence (glissement) de différents engins en fonction de la pente,

ces deux facteurs étant quantifiés sous l'action de différentes charges.

L'aboutissement final de la démarche est de trouver une équation du glissement en fonction de la pente et de la charge, servant de modèle pour caractériser le comportement de ces engins au transport.

1.2. Justification des composantes à caractériser

Le choix du facteur "Pente" devrait être évident. En effet, en zone de montagne, c'est l'élément principal qui arrêtera la progression d'un tracteur.

Cet arrêt de progression qui dépend aussi de l'état des surfaces en contact, se traduit par une perte d'adhérence d'où le glissement, mais rarement par un manque de puissance.

Les études antérieures du CEMAGREF indiquent que pour un tracteur de poids donné, se plaçant sur un sol donné, le glissement varie dans le même sens que l'effort de traction d'où l'introduction de ce troisième facteur.

La fonction transport a été choisie pour les essais car c'est l'activité majeure des éleveurs de montagne (60 % du temps). De plus, la mise en œuvre pour les essais est aisée contrairement aux tests avec outils et dynamomètre.

1.3. Etalonnage des capteurs

Le but de cette opération est de convertir les tensions émises par les capteurs en unités standard, directement exploitables.

Parmi les capteurs que nous avons utilisés, certains ont été étalonnés à la fabrication.

C'est le cas du débitmètre,

$1 \text{ impulsion} = 1 \text{ cm}^3$

et de l'inclinomètre,

$\text{constante} = 0,0158^\circ/\text{mV}$

La constante peut cependant varier pour d'autres capteurs, selon les conditions ou la position de fixation sur la cellule motrice. C'est le cas du radar.

1.3.1. Détermination des constantes radar

Elle consiste à enregistrer un nombre N d'impulsions sur une distance D, avec un régime constant sélectionné.

$$\text{constante radar (C)} = D/N \quad \text{ou} \quad T/N_1$$

* Essai avec le Bucher, radar fixé à 35°

Distance mesurée (D) : 17,50 m

Nombre de tours (T) : 4480

Nombre d'impulsions enregistrées (N) : 5390

Impulsion radar (N) : 5390

Constante radar (C) : 0,0095 m/impulsion

C : 1,203 imp/tour moteur

* Essai avec le motoculteur, radar fixé à 35°

AVEC CHENILLES

D : 20 m

T : 2919

N : 1974

N : 1974

C : 0,0101 m/imp

C : 0,678 imp/tour moteur

AVEC ROUES

D : 20 m

T : 2691

N : 1906

N : 1906

C : 0,0104 m/imp

C : 0,708 imp/tour moteur

* Essai avec le mouflon

D : 17,30 m

T : 875

N : 1230

N : 1230

C : 0,0140 m/imp

C : 1,4057 imp/tour moteur

1.3.2. Détermination des constantes de transmission

Le calcul de la distance théorique qui rentre dans la détermination du glissement, nécessite la connaissance de la constante de transmission. Elle se définit comme étant le ratio distance/nombre de tours effectué par le moteur (N) multiplié par la constante radar.

$$\text{Constante de transmission (C}_1\text{)} : D/N \times T/N$$

* *Essai avec le Bucher*

C_1 : 0,0104 m/tour moteur

Rapport de vitesse enclenché : 1ère lente (1,2 km/h à 1920 tr/mn)

* *Essai avec le motoculteur*

AVEC CHENILLES

C_1 : 0,00685 m/tour moteur

Rapport de vitesse enclenché : 1ère (0,74 km/h à 1800 tr/mn)

AVEC ROUES

C_1 : 0,0736 m/tour moteur

Rapport de vitesse enclenché : 1ère (1,40 km/h à 3000/mn)

* *Essai avec le mouflon*

C_1 : 0,0196 m/tour moteur

Rapport de vitesse enclenché : 1ère rapide (2,12 km/h à 1800 tr/mn)

1.4. Calcul d'erreurs et choix du temps de scrutation*

Une des caractéristiques des centrales de mesures est le temps de scrutation. En effet, le nombre et la précision des mesures prises pendant un temps donné, dépendra du choix de la fréquence de scrutation. Le temps de scrutation est fonction de la mesure à faire donc selon les types de capteurs.

1.4.1. Capteurs analogiques

Pour ces types de capteurs, plus l'intervalle entre les prises de données est petit, plus les mesures reflètent les conditions existantes, donc une plus grande précision.

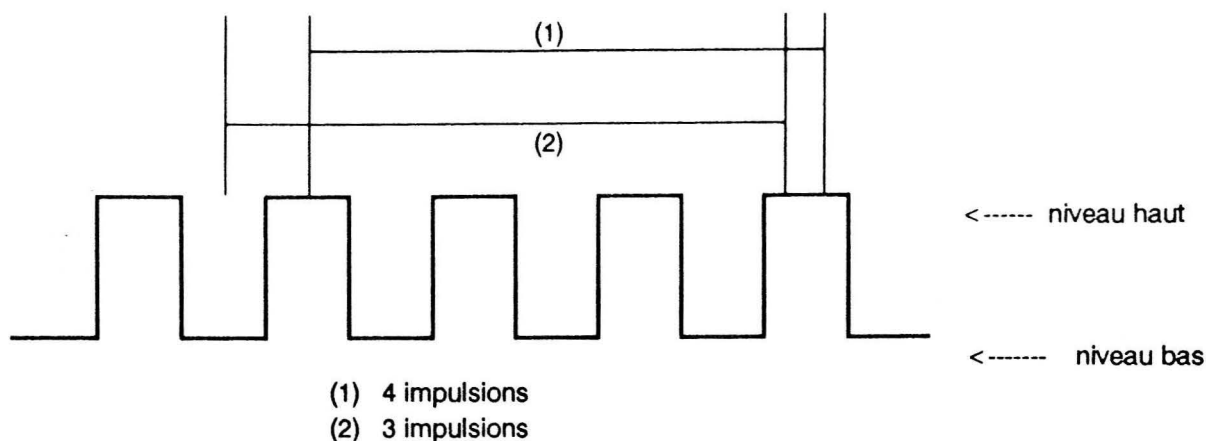
La vitesse du BUCHER choisie pour le transport en zone de pente étant la première lente (1,37 km/h à 2000 tr/mn) soit 0,38 m/s, le temps de scrutation choisi est de 1 s : ce qui nous donne un enregistrement tous les 0,38 mètre. En choisissant un terrain dont la variation de pente est progressive, nous trouvons ce temps de scrutation correct.

1.4.2. Capteurs logiques

Pour ces types de capteurs, la précision d'une mesure est directement proportionnelle à la durée de son enregistrement.

Exemple : pour un capteur donnant 4 impulsions pour un temps de scrutation t , on peut enregistrer 3 ou 4 impulsions selon le début de la mesure.

* C'est le temps qui sépare deux prises de données.



$$\text{Erreur} = \frac{1}{4} = 25 \%$$

$$\text{ou} \quad \frac{1}{3} = 33 \%$$

On a donc intérêt à étendre le temps de scrutation afin de couvrir un plus grand nombre d'impulsions, réduisant ainsi l'erreur.

Une erreur de 5 % dans notre cas est considérée comme maximale. Il faut donc choisir un temps de scrutation de manière à obtenir au moins 20 impulsions.

* Dans le cas du Bucher, avec le radar qui émet une impulsion environ tous les centimètres, nous aurons pour une vitesse d'avancement de 0,38 m/s, 40 impulsions pour un temps de scrutation d'une seconde. L'erreur sera donc de 2,5 % (1/40), ce qui est correct.

* Pour le compte-tour moteur, avec un régime au travail de 2000 tr/mn, soit 33 tr/s, nous aurons 33 impulsions par seconde. L'erreur sera donc de 3,3 %.

* Le capteur le plus problématique est le débit-mètre. Pour une moyenne de 3 l/h (cas du Bucher) ou 0,8 cm³/s, nous aurons théoriquement 0,8 impulsions par seconde (1 impulsion/cm³). Il faudra donc un temps de scrutation de 20/0,8 soit 25 s pour avoir l'erreur maximale (5 %). Or la précision recherchée pour le calcul du glissement ne nous permet pas d'envisager un tel temps de scrutation, d'où l'exclusion des données de ce capteur de nos traitements. Le domaine d'utilisation de ce dernier serait dans des essais autorisant une longue durée d'enregistrement.

1.5. Obtention des résultats

En prélude à la modélisation, les grandeurs suivantes sont déterminées :

* Le glissement (G)

$$G (\%) = 1 - \frac{D_r}{D_t}$$

Dr : Distance réelle

$$\text{ou} \quad \left[1 - \frac{\text{impulsions radar} \times 60}{\text{imp/tr} \times \text{tour moteur}} \right] \times 100$$

Dt : Distance théorique

* *La pente (P)*

$$P (\%) = \operatorname{tg} (2\pi\alpha / 360) \times 100$$

α = angle en degré

II- CARACTERISTIQUES DU SUPPORT SOL

Il ne s'agit pas dans ce chapitre d'envisager une étude de sol mais de souligner quelques grands traits de l'effet des contraintes mécaniques (qui nous intéressent) sur les andosols, que constituent essentiellement les sols des Hauts de l'Ouest.

Des études menées séparément par V. ROSELLO^(*) (1984), M. BROUWERS^(*) (1985) et S. PERRET (1989) ont montré que les andosols posent des problèmes d'ordre géotechnique (portance, compaction, perte de perméabilité).

Selon M. BROUWERS et M. FORTIER^(*) (1985) qui ont travaillé en laboratoire sur des échantillons remaniés mais non desséchés, les andosols paraîtraient beaucoup plus sensibles au compactage qu'un sol "normal" (argiles pylliteuses).

Les conditions réelles, selon RAUNET (1991), quant à la sensibilité au compactage des andosols, sont différentes des conditions des tests. Il ajoute que les andosols nécessiteraient des méthodes spécifiques de caractérisation.

Dans tous les cas, compte-tenu du poids relativement faible de nos engins et de l'état du sol au moment de nos essais (dur, début friable), le problème qui se pose ne relève pas du domaine du compactage.

Le volet le plus intéressant pour notre étude à propos de l'effet de contraintes mécaniques, serait le cisaillement car d'après nos essais (sur terrain), c'est le phénomène qui semble se produire. Or, dans ce domaine, aucune étude n'a, jusque là, été réalisée à ce sujet sur les andosols à La Réunion.

III- LES EQUIPEMENTS UTILISES

3.1. Le Bucher TM 850, le Motoculteur REV 2300 et le Mouflon

3.1.1. Le Bucher (Photo 1)

a) *Caractéristiques*

Puissance :	22 kW
Poids vide :	1010 Kg
Pneus :	Basse pression 26 - 12 x 12
Relevage AV :	Hydraulique 300 Kg
AR :	Hydraulique 300 Kg

^(*) Cités par RAUNET, 1991

b) Passage au banc

Pour l'obtention des courbes de référence, le Bucher a été passé au banc dynamométrique.

Nous avons obtenu 20 courbes, allant des régimes 1000 à 2900 tr/mn (voir annexe 4).

3.1.2. Le motoculteur (Photo 2)

Caractéristiques :

- Puissance : 9 kW
- Poids vide : 209 Kg (sans la remorque)
- Dispositifs d'adhérence :
 - Pneus : 6,5/80.- 12
 - Chenilles élastomères : largeur = 180 mm

3.1.3. Le Mouflon 2700

Caractéristiques

- Puissance : 19,8 kW
- Poids vide : 1300 Kg
- Dispositifs d'adhérence
 - 4 chenilles motrices : Largeur = 300 mm
 - Pression : 150 g/cm² à vide

3.2. Les bennes et remorques

L'essai se rapportant essentiellement sur la fonction transport, deux bennes sont adaptées pour le Bucher, sur chaque relevage hydraulique (avant et arrière). Ces bennes permettent de répartir les différentes charges.

Quant au Motoculteur, il est équipé d'une remorque à roues motrices, fournie par le constructeur. Charge utile : 750 Kg.

Le Mouflon, quant à lui, est équipé d'une benne basculante sur les chenilles arrières. Charge utile : 1500 kg.

3.3. Les capteurs

3.3.1. Le compte-tours (Photo 3)

C'est un capteur de proximité (magnétique). Les mesures faites seront utilisées pour le calcul de la puissance dépensée et de la distance théorique pour la détermination du glissement.

- * Nombre de tétons : 1/tour
- * Sortie logique

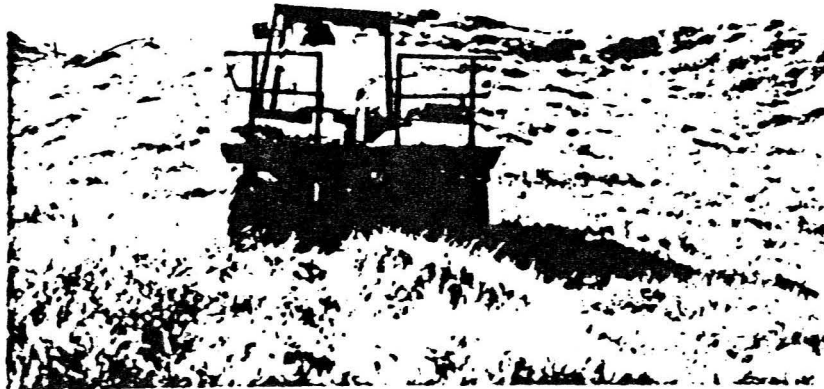


Photo 1 : Le Bucher TM 850



Photo 2 : Le Motoculteur REV 2300

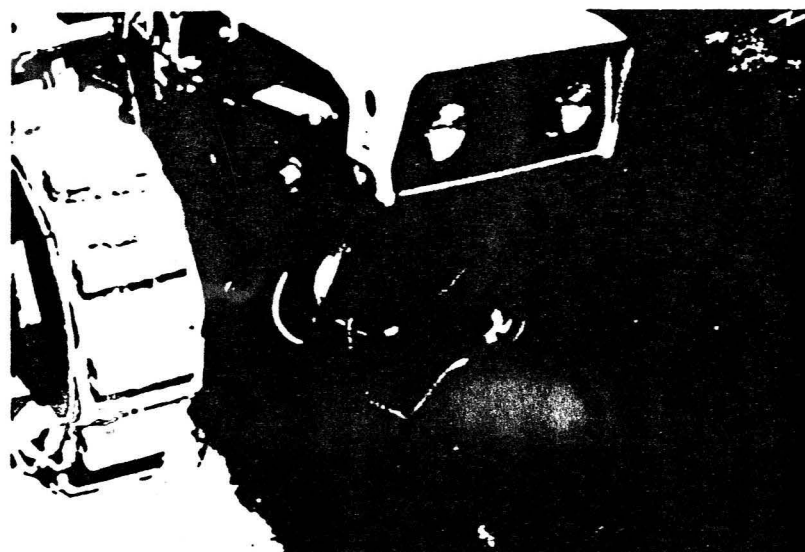


Photo 3 : Le Compte - tours

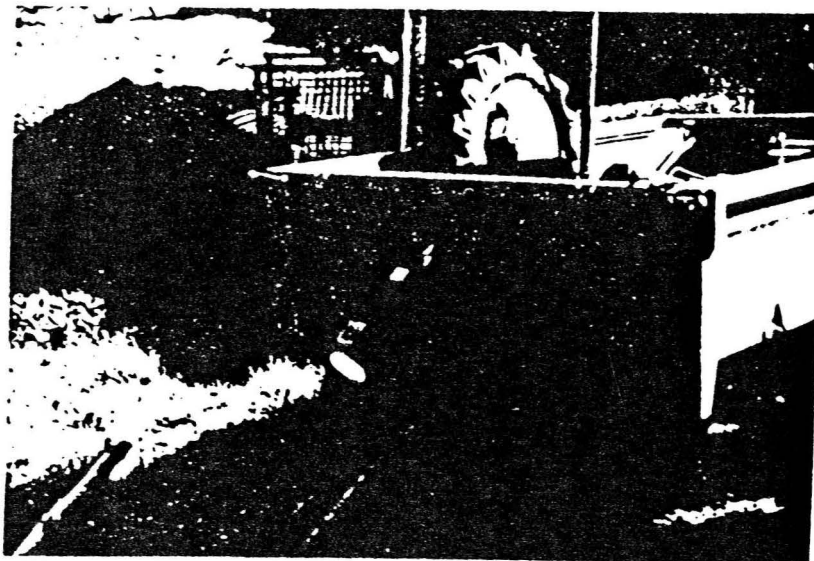


Photo 4 : Le Radar

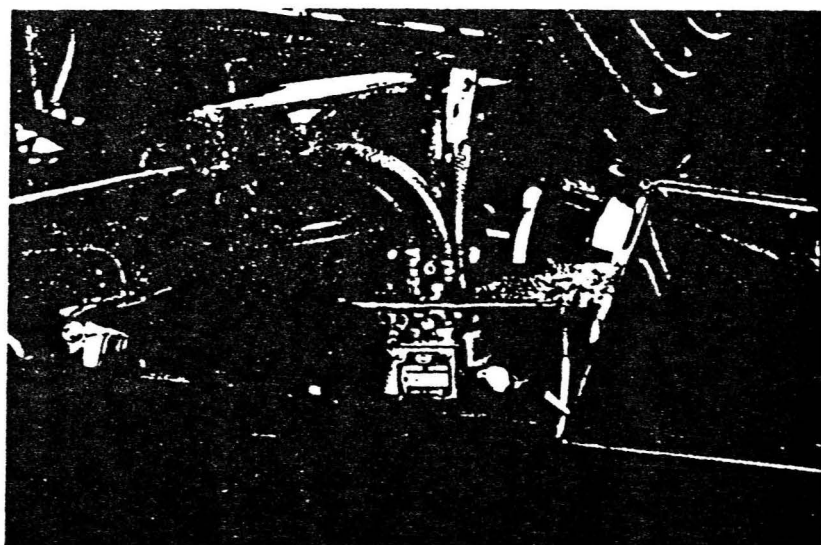


Photo 5 : Le Débitmètre

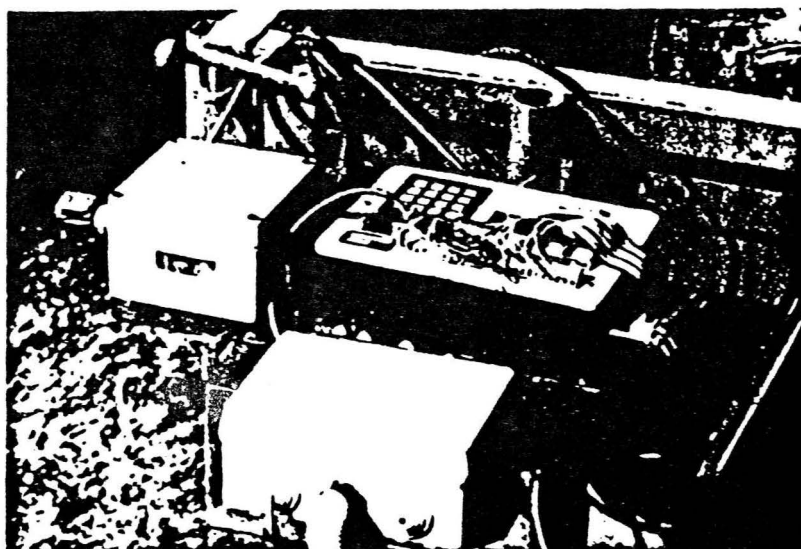


Photo 6 : L'inclinomètre (à gauche)

3.3.2. Le radar (Photo 4)

Les mesures du radar servent à la détermination de la distance réelle parcourue, qui est également utilisée pour le calcul du glissement.

- * Marque DICKEY JOHN 2ème génération
- * Sortie logique

3.3.3. Le débitmètre (Photo 5)

Les mesures de débit de carburant peuvent servir au calcul des consommations (horaire et spécifique). Cette dernière peut être utilisée par la détermination de la puissance du moteur.

- * Marque SOLEX
- * 1 impulsion = 1 cm^3
- * Sortie logique

3.3.4. L'inclinomètre (Photo 6)

Ce capteur est utilisé pour déterminer l'angle d'inclinaison de l'engin.

- * Marque LEVELMATIC A34
- * Sortie analogique $\pm 2 \text{ V}$
- * Plage de mesure : $0 - 30^\circ$
- * Précision : $\pm 1,5 \%$

B- CAPACITE AU TRANSPORT : Résultats et Modélisation

I- AJUSTEMENT NON LINEAIRE DE BASE

Il n'est sans doute pas inutile de préciser qu'un des grands principes de toute modélisation, est de choisir parmi tous les modèles satisfaisant aux objectifs fixés, celui qui est le plus simple ; une forme analytique plus compliquée qu'une autre ne peut se justifier que par sa richesse beaucoup plus grande.

Le choix de notre méthode s'est basé sur la constatation du glissement abordé dans les études antérieures (Partie I), où l'on observe nettement un point de rupture. Dans la pratique, cela est réel car nous avons deux zones bien distinctes : progression et non progression. De plus, la connaissance du point de rupture serait une originalité de notre étude.

1.1. Méthodologie adoptée

Il est assez fréquent que des phénomènes biologiques soient linéaires dans des domaines voisins ; mais un changement dans les conditions extérieures peut entraîner une cassure. Ainsi à l'annexe 5, les nuages de points indique assez clairement une cassure ; chacune des portions du nuage paraît bien s'ajuster à une droite. Si nous avons de bonnes raisons pour penser qu'il existe deux phénomènes distincts, par contre nous ignorons généralement où se situe la rupture.

L'introduction de l'abscisse inconnue du point de rupture comme paramètre du modèle de base, va donc nous permettre d'estimer cette valeur et ses limites approchées de variation.

1.1.1. Paramétrage

Pour simplifier les notations, nous adoptons le paramétrage suivant :

$$\begin{array}{ll} \text{Si } P < P_0 & \text{alors } G = aP + b + E \\ & \text{sinon } G = cP + d + E' \end{array} \quad (1)$$

a, b, c, d : paramètres du modèle

G : glissement

P_0 : pente à la rupture

(*) : erreurs résiduelles

P : pente

d'espérances nulles

1.1.2. Introduction d'une contrainte

Fournir la même estimation de G pour $P = P_0$, revient à introduire la contrainte :

$$\begin{array}{l} aP_0 + b = cP_0 + d \\ \text{c'est-à-dire } c = a + \frac{b - d}{P_0} \end{array} \quad (2)$$

(*) E et E' peuvent être supposées normalement distribuées si l'on veut faire des tests statistiques

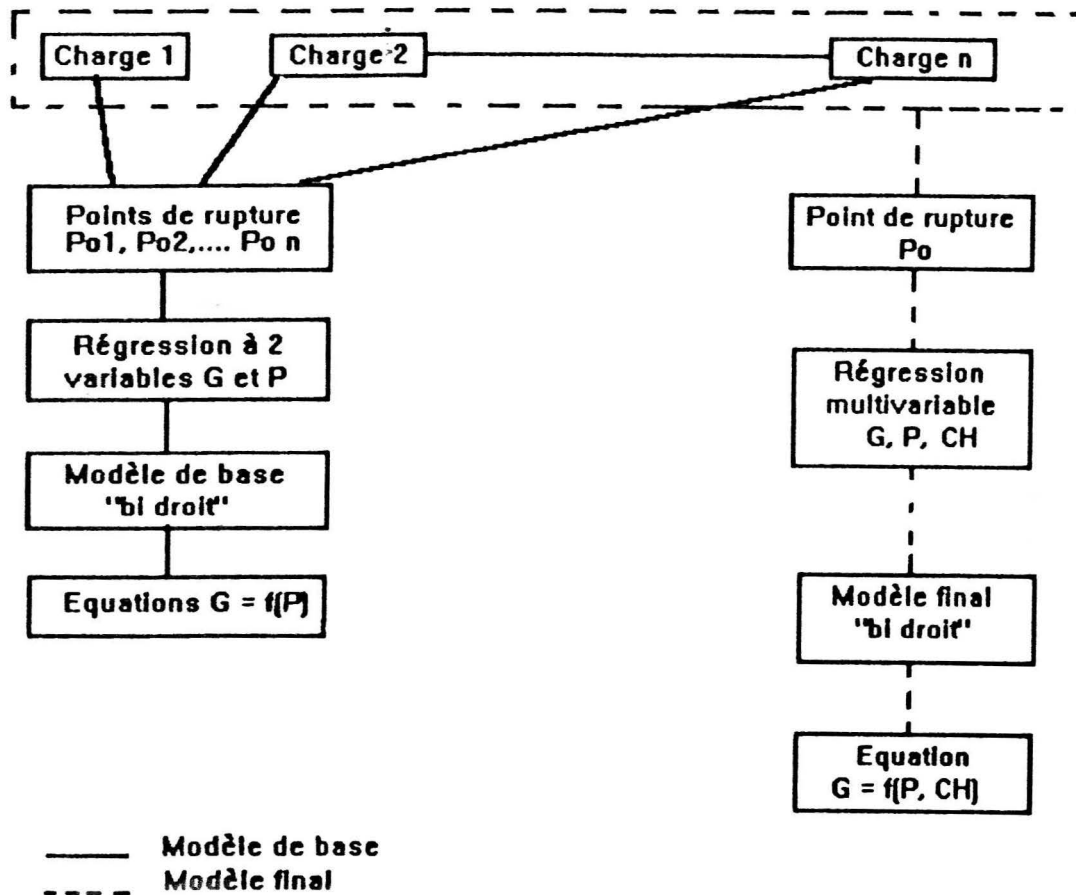
La minimisation de la quantité

$$\sum_{P < P_0} [G - (aP + b)]^2 + \sum_{P > P_0} [G - (aP + \frac{b-d}{P_0}P + d)]^2 \quad (3)$$

fait intervenir de façon non linéaire les quatre paramètres à estimer a , b , d et P_0 . Néanmoins, la minimisation ne soulève pas de grandes difficultés si la rupture est nette entre les deux droites ; en effet, des estimations initiales sont facilement obtenues, ne serait-ce que de manière graphique.

Les mesures effectuées sur le terrain nous permettent de déterminer la pente (P) et le glissement (G) pour chaque charge testée (CH).

L'itinéraire suivi pour la modélisation s'est fait selon le schéma suivant :



1.2. Résultats de l'ajustement

Pour l'obtention des résultats des ajustements servant de modèle de base, plusieurs méthodes sont proposées sur le logiciel "Statistical Analysis System" (SAS).

Il s'agit des méthodes GAUSS NEWTON, MARQUARDT et GRADIENT.

Nous n'allons pas rentrer dans la spécificité de chaque méthode mais le critère retenu pour le choix d'une méthode ou d'une autre, était celle qui minimisait au mieux la somme des carrés des écarts (SCE).

Les différents résultats sont consignés dans un tableau et cela pour chaque charge testée. Le tableau ci-dessous représente les essais du Bucher à vide. Les résultats des autres charges peuvent être observés en Annexe 6.

1.2.1. Le BUCHER

* A vide

$$R^2 = 0,92$$

$$S^2 = 0,083$$

Paramètres		a	b	d	P ₀
Valeur initiale		0,40	0,05	- 2,9	0,50
Estimation		0,307	0,072	- 3,137	0,547
Ecart-type asymptotique		0,080	0,034	0,228	0,004
Coefficient de corrélation	a	1			
	b	- 0,98	1		
	d	0	0	1	
	P ₀	0,38	- 0,33	- 0,70	1

Plage de variation du point de rupture à probabilité p = 95 %

$$0,53 < P_0 < 0,55$$

R² : Coefficient de détermination

S² : Estimation de σ^2 (= var E ou E')

* Modèle de Base

$$\begin{aligned} \text{Si } P < 0,54 & \text{ alors } G = 0,307 P + 0,072 \\ \text{sinon} & G = 6,225 P - 3,13 \end{aligned} \quad (4)$$

1.2.2. Le motoculteur avec les chenilles

* Charge à 200 Kg

$$R^2 = 0,94$$

$$S^2 = 0,091$$

Paramètres		a	b	d	P ₀
Valeur initiale		0,40	0,05	- 2,9	0,50
Estimation		0,265	0,095	- 4,31	0,52
Coefficient de corrélation	a	1			
	b	- 0,96	1		
	d	0	0	1	
	P ₀	0,41	- 0,33	- 0,76	1

Plage de variation du point de rupture à p = 95 %

$$0,51 < P_0 < 0,54$$

*** Modèle de Base**

$$\begin{array}{ll} \text{Si } P < 0,52 & \text{alors } G = 0,265 P + 0,095 \\ & \text{sinon } G = 8,74 P - 4,31 \end{array} \quad (5)$$

1.2.3. Le motoculteur avec les pneumatiques*** A vide**

$R^2 = 0,91$

$S^2 = 0,080$

Paramètres		a	b	d	P ₀
Valeur initiale		0,40	0,05	- 2,9	0,50
Estimation		0,157	0,104	- 0,92	0,44
Coefficient de corrélation	a	1			
	b	- 0,95	1		
	d	0	0	1	
	P ₀	0,51	- 0,40	- 0,71	1

Plage de variation du point de rupture à p = 95 %

$0,40 < P_0 < 0,48$

*** Modèle de Base**

$$\begin{array}{ll} \text{Si } P < 0,44 & \text{alors } G = 0,157 P + 0,104 \\ & \text{sinon } G = 2,48 P - 0,92 \end{array} \quad (6)$$

1.2.4. Le Mouflon 2700*** A vide**

$R^2 = 0,92$

$S^2 = 0,04$

Paramètres		a	b	d	P ₀
Valeur initiale		0,40	0,05	- 2,9	0,50
Estimation		0,379	0,025	- 3,5	0,60
Coefficient de corrélation	a	1			
	b	- 0,95	1		
	d	0	0	1	
	P ₀	0,23	- 0,2	- 0,93	1

Plage de variation du point de rupture à p = 95 %

$0,59 < P_0 < 0,61$

* *Modèle de Base*

$$\begin{array}{lll} \text{Si } P < 0,60 & \text{alors} & G = 0,379 P + 0,025 \\ & \text{sinon} & G = 6,21 P - 3,50 \end{array} \quad (7)$$

1.3. Intérêts des résultats

Cette première approche du problème par l'introduction d'un point de rupture nous permet de suggérer une plage d'utilisation des engins testés.

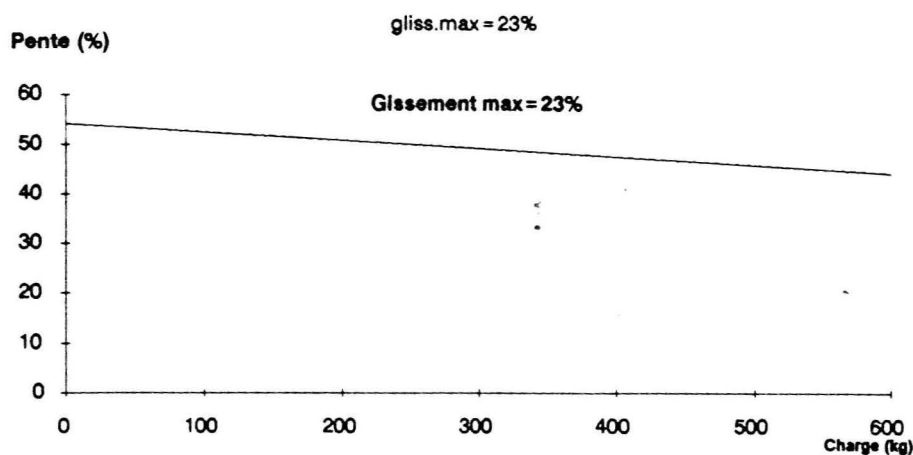
1.3.1. Limites du patinage

Tant pour le BUCHER TM850, le Motoculteur REV 2300 avec les roues que pour le Motoculteur équipé avec les chenilles, les coordonnées du point de rupture, en moyenne, du modèle de base (1) reste le même. Ce point qui détermine en somme la zone jugée comme patinage maximal (PM), autorise une limite inférieure ou égale à 23 %. Le Mouflon, quant à lui, autorise un patinage maximal de 19 % (Cf. Annexe 6).

Ce patinage de 23 % est, en fait, une limite de sécurité puisque graphiquement (Cf. Annexe 5), il est discutable. Notons qu'au delà de 30 % de patinage, la progression de ces différentes cellules motrices, utilisées comme des transporteurs, devient très aléatoire jusqu'à la perte totale de l'adhérence.

1.3.2. Limites de pente

La détermination des limites de patinage nous amène à envisager les limites de pente correspondant. La méthode utilisée est une régression linéaire intégrant les données charge et pente pour un glissement fixé à 23 % (point de rupture) pour le Bucher et le motoculteur, à 19 % pour le Mouflon. Les équations ainsi déterminées sont représentées ci-dessous.

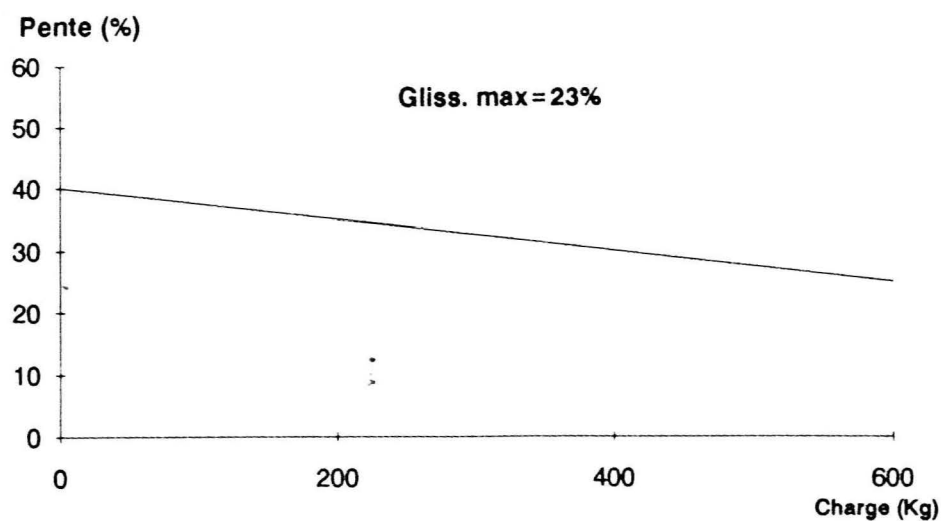
a) *Le BUCHER*

$$\text{Glissement de 23 \% : } P (\%) = - 0,0162 C + 54 \quad (8)$$

Figure 10 : Limites de pente (Bucher)

b) *Le MOTOCULTEUR*

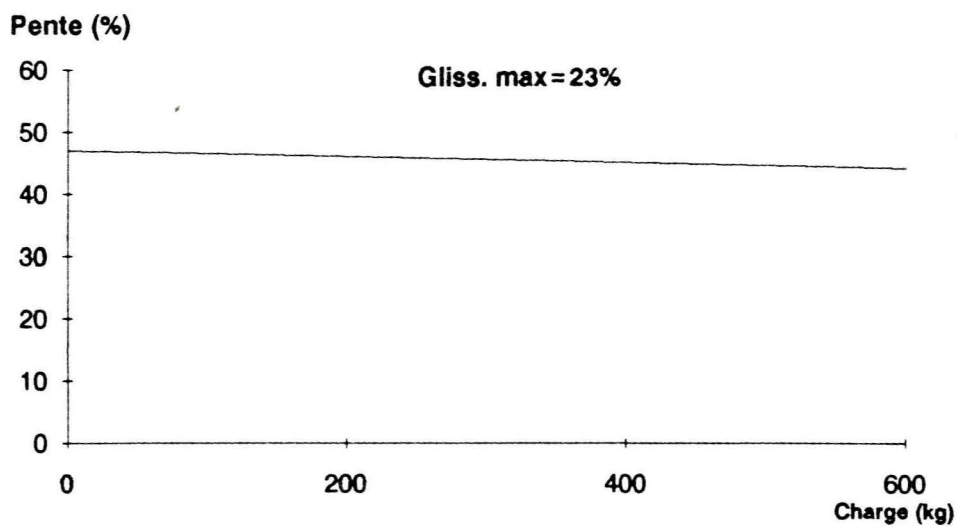
* Avec les roues



$$\text{Glissement de 23 \% : } P (\%) = - 0,0248 C + 40 \quad (9)$$

Figure 11 : Limites de pente (roues)

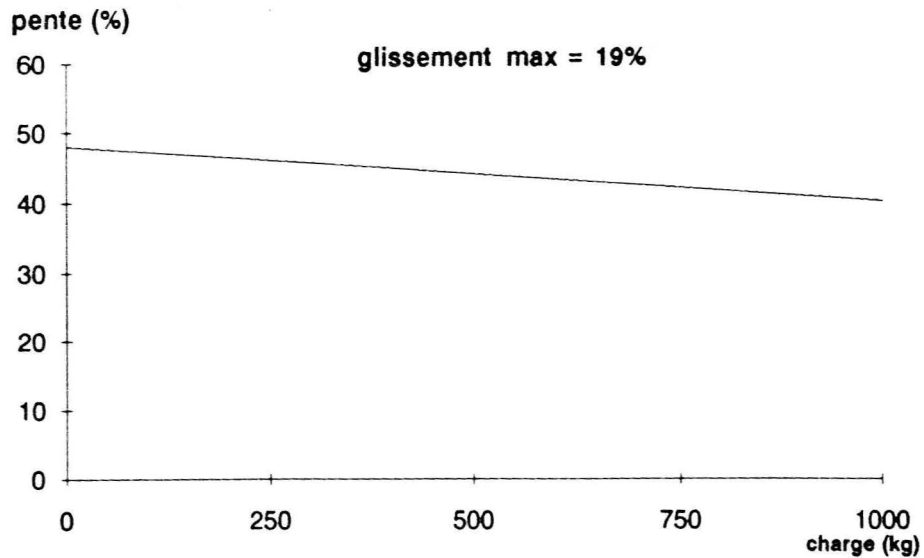
* Avec les chenilles



$$\text{Glissement de 23 \% : } P (\%) = - 0,00465 C + 47 \quad (10)$$

Figure 12 : Limites de pente (chenilles)

c) Le MOUFLON



$$\text{Glissement de 19 \% : } P (\%) = - 0,00769 C + 48 \quad (11)$$

Figure 13 : Limites de pente (Mouflon)

COMMENTAIRES :

La pente négative des différentes courbes indique qu'en augmentant la charge sur les engins, l'on diminue la zone d'utilisation. Les valeurs très faibles des différents coefficients des équations témoignent que la charge influence faiblement les limites de pente.

L'effet charge cependant est relativement plus perceptible non seulement en passant d'un type d'engin à l'autre (Bucher, Motoculteur et Mouflon) mais aussi d'un système de transmission à un autre (pneumatique et chenilles).

L'introduction de la charge dans l'équation Glissement en fonction de la Pente devra nous permettre de prédire pour n'importe quelle pente et à n'importe quelle charge, le comportement des engins testés au patinage ; c'est le but de notre modélisation.

II- MODELISATION

Prédire les performances d'une cellule motrice aux champs est une technique compliquée, ce d'autant plus que l'engin évolue dans un système. Mais le choix d'un modèle dépend des objectifs que l'on veut atteindre.

L'allure similaire des différentes courbes du glissement dû à la pente pour chaque charge (Cf. Annexe 5), montre qu'elles peuvent être régies par une formule mathématique commune.

L'élaboration d'un modèle tenant compte à la fois de la charge et de la pente tout en valorisant notre modèle de base (équations (1)), nous emmène à déterminer le point de rupture moyen (P_0), en considérant toutes les charges (Cf. Annexe 7). La résolution de l'équation "Plan des moindres carrés" (régression multivariable) de chaque segment de droite déterminé par le point de rupture, nous a donc permis de proposer un modèle intégrant à la fois le Glissement, la Pente et la Charge.

La formulation du modèle final se présente comme ci-dessous :

$$\begin{array}{ll} \text{Pour} & P < P_0 \quad G = a P + b CH + c \\ & \text{sinon} \quad G = a' P + b' CH + c' \end{array} \quad (12)$$

P : pente (%)
 P_0 : pente à la rupture (%)
 G : glissement
 CH : charge
 a, a', b, b', c, c' : paramètres du modèle

La formule (12) peut être présentée comme suit :

$$\begin{array}{ll} \text{Pour} & \alpha < \alpha_0 \quad G = a \operatorname{tg} (2\alpha\pi/360) + b CH + c \\ & \text{sinon} \quad G = a' \operatorname{tg} (2\alpha\pi/360) + b' CH + c' \end{array} \quad (13)$$

α : pente (degré)
 α_0 : pente à la rupture (en degré)
 G : glissement (%)
 CH : charge (Kg)

L'analyse statistique qui peut être observée en Annexe 8 nous a permis de déterminer les différents paramètres du modèle.

2.1. Le BUCHER

$$\begin{array}{ll} \text{Pour} & P < 46 \% \quad G = 0,348 P - 0,33.10^{-6} CH + 0,067 \\ & \text{sinon} \quad G = 2,832 P + 344.10^{-6} CH - 1,15 \end{array} \quad (14)$$

$$45 \% < P_0 < 47 \%$$

2.2. Le Motoculteur équipé de pneumatiques

$$\begin{array}{ll} \text{Pour} & P < 40 \% \quad G = 0,410 P - 64,2.10^{-6} CH + 0,029 \\ & \text{sinon} \quad G = 3,010 P + 721.10^{-6} CH - 1,26 \end{array} \quad (15)$$

$$35 \% < P_0 < 46 \%$$

2.3. Le Motoculteur équipé de chenilles

$$\begin{array}{lll}
 \text{Pour } P < 50 \% & G = 0,380 P - 77,5 \cdot 10^{-6} CH + 0,036 & \\
 \text{sinon} & G = 3,498 P + 1120 \cdot 10^{-6} CH - 1,70 & (16) \\
 & 45 \% < P_0 < 55 \% &
 \end{array}$$

2.4. Le Mouflon

$$\begin{array}{lll}
 \text{Pour } P < 50 \% & G = 0,490 P - 13,95 \cdot 10^{-6} CH - 0,036 & \\
 \text{sinon} & G = 4,071 P + 642 \cdot 10^{-6} CH - 2,054 & (17) \\
 & 47 \% < P_0 < 51 \% &
 \end{array}$$

III- ANALYSE DES RESULTATS

Il serait hasardeux d'établir une comparaison entre les différents engins testés, ce d'autant plus que ces engins évoluent dans un système dont tous les paramètres n'ont pas été pris en compte dans notre étude.

Le but de ce chapitre est donc de dégager les grands traits du comportement de ces engins au transport.

Pour expliquer le comportement des différents engins, les uns par rapport aux autres, une représentation schématique des différentes forces agissantes peut être observée à la figure 14.

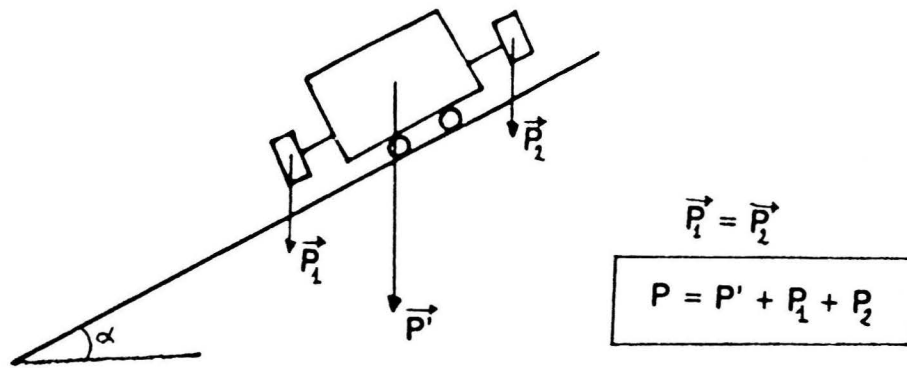
3.1. Comportement au transport du BUCHER

Les différentes équations établies : limites de pente (7), modèle final (14) montrent une influence relativement faible de la charge sur cet engin de montagne. Soulignons au passage qu'il n'est pas un véritable transporteur.

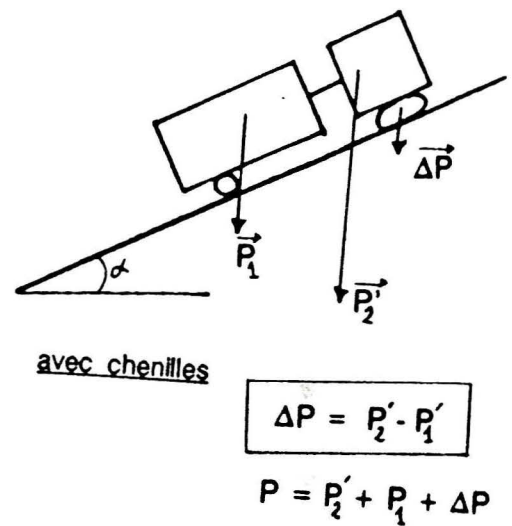
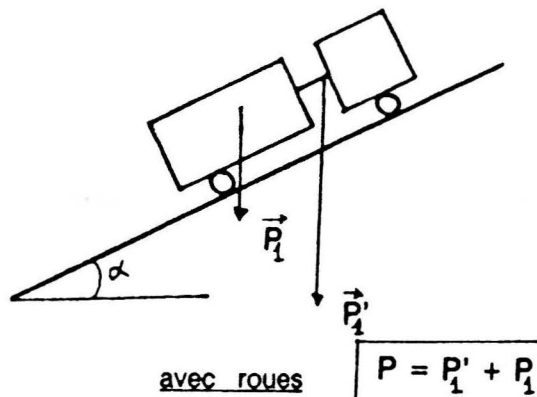
L'adaptation de cet engin au transport nous a amenés à répartir la charge testée en avant et en arrière ; de ce fait, nous n'avons fait qu'alourdir le tracteur et c'est ce qui explique son comportement différent vis-à-vis du motoculteur (Figure 14).

Cet engin de 22 kW peut franchir, selon notre étude, une pente de 45 % avec une charge maximale de 600 kg (en étant utilisé comme transporteur) pour un patinage de 23 %.

En revanche, à vide, la pente franchie est de 54 %, toujours pour un patinage de 23 %.



cas du Bucher



cas du Motoculteur

P' = Poids du tracteur à vide

P_1 et P_2 = masses ajoutées à chaque essai

P = poids total du tracteur chargé

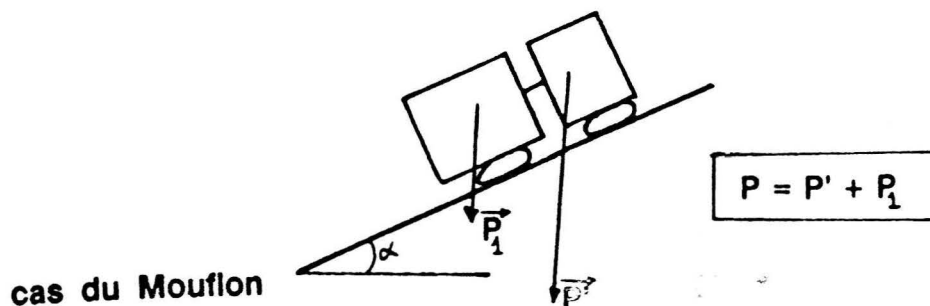


Figure 14 : Représentation schématique de la répartition des charges sur les différents engins

3.2. Comportement au transport du motoculteur avec les pneumatiques

Equippé de pneumatiques et évoluant sur une surface agricole dure, ce petit engin, utilisé comme transporteur, ne peut guère franchir que 25 % de pente avec une charge de 600 kg.

A charge nulle, le système pneumatique sur le motoculteur ne peut dépasser 40 % de pente, à cause de son manque d'adhérence qui n'est certainement pas imputable qu'à la charge sur le véhicule.

3.3. Comportement du motoculteur équipé de chenilles

Pour ce système de transmission, compte tenu du poids même des chenilles (lourdes) et de sa bonne adhérence, l'engin peut franchir aisément une pente de 47 % (zone des essais) à vide en développant un glissement maximum de 23 %.

Cette capacité diminue progressivement avec la charge bien que l'effet de cette dernière soit relativement moins marqué par rapport à celui observé avec le même engin équipé de pneumatiques.

En effet, chargé (600 kg), il peut franchir 44 % de pente en développant le même glissement.

L'adaptation des chenilles sur cet engin engendre un gain de poids (ΔP) de 103 kg par rapport aux roues (Figure 14). C'est ce qui expliquerait en partie à sa capacité beaucoup plus grande dans la pente franchie avec le même glissement. En outre, les chenilles, en sus de leur faible pression sur le sol, s'y accrochent fortement.

En passant du motoculteur équipé de pneumatiques au même motoculteur mais équipé de chenilles, les capacités de transport s'améliorent nettement :

- à vide, avec 23 % de patinage maximal (PA), on est passé de 40 % à 47 % de pente, soit une augmentation de 17 % de ses capacités (cf. équations 9 et 10) ;
- avec la charge maximale de 600 kg (utilisation limite dans notre essai), toujours à 23 % de patinage, on est passé de 25 % à 44 % de pente, soit un gain de 76 %.

3.4. Comportement du Mouflon 2700

Ce petit chenillard de 19,8 kW, conçu par les CINAM, peut franchir à vide une pente de 48 % pour un glissement maximum de 19 %.

Avec une charge de 1000 kg, il ne peut franchir que 40 % de pente, toujours avec le même glissement maximum.

La différence entre les trois engins testés réside dans le fait que :

- le centre de gravité du Bucher ne change à aucun moment de l'essai et cela grâce à la répartition égale des charges appliquées (Cf. Figure 14).

- Alors que pour le motoculteur et le mouflon, qui sont des véritables transporteurs, plus l'on charge, plus on déplace le centre de gravité de l'engin vers l'arrière, délestant ainsi l'avant

Sur fortes pentes (zone d'essai) avec une charge maximum, la force de gravité doublée du cisaillement du sol, détermine le "point de rupture".

En réalité, le phénomène qui se déroule dans la pratique, dépasse la simple limite de la schématisation de la figure 14.

Tableau récapitulatif des capacités

Engins	Puissance (kW)	Charge (kg)	Pente gravie (%)	Glissement maximum (%)
Bucher TM 850	22	0 600	54 45	23
Motoculteur (roues)	9	0 600	40 25	23
Motoculteur (chenilles)	9	0 600	47 44	23
Mouflon 2700	19,8	0 1000	48 40	19

3.5. Limites de l'étude

La méthodologie adoptée pour la détermination de toutes les fonctions est le modèle bidroit (PROC NLIN sur SAS). Son grand intérêt réside dans le fait qu'elle est reproductible.

Par contre, en passant de la roue suiveuse (Cf. Etudes antérieures, Partie I) au radar deuxième génération (distance parcourue) supposé être plus précis de 10 secondes à 1 seconde (temps de scrutation), on a pu améliorer que très sensiblement le problème du manque de points après le décrochement (point de rupture) de la roue ou de la chenille.

Nous avons constaté en outre que la précision après le "point de rupture" était plus faible qu'avant (variabilité du glissement plus faible pour les faibles pentes que pour les fortes pentes). Dans ces conditions, le risque est grand d'avoir des minima locaux lors de notre modélisation et donc de ne pas obtenir le minimum absolu de la somme des carrés résiduels (SCE).

Le comportement presque identique des différents engins après le "point de rupture" observé lors de nos essais et des essais antérieurs, laisse à penser que le phénomène provient des caractéristiques du sol notamment le cisaillement.

En fonction des travaux à réaliser (travail du sol, de récolte, ...), on n'aura pas forcément la même progressison, ni le même glissement pour des paramètres identiques à ceux de nos essais.

Il serait donc intéressant dans le cas d'une étude complémentaire, d'intégrer des données du sol, notamment celles issues des contraintes mécaniques.

CONCLUSION GENERALE ET SUGGESTIONS

L'objectif de cette étude a consisté surtout à la mise au point d'une méthode mathématique servant à modéliser la capacité au transport de machines agricoles aux champs.

Comme méthode, nous avons choisi la mesure de performances à partir des données de terrain, pour sa simplicité et son utilisation pratique.

Diverses méthodes de modélisation mathématique tridimensionnelle avaient été ébauchées, une seule a retenu notre attention : la méthode bidroit (compte-tenu de nos objectifs). Il s'agit pour nous, d'en établir une version reproductible et de l'adapter éventuellement pour chaque condition d'utilisation, du matériel de montagne à La Réunion.

La connaissance ainsi acquise des capacités potentielles au transport du matériel de montagne, peut aider toutes les parties prenantes, notamment les agriculteurs, à l'optimiser.

Néanmoins, notre travail est susceptible de divers prolongements :

- Faute de temps, nous n'avons pas pu valider le modèle développé sur d'autres sols ou même chez d'autres agriculteurs. Il serait donc souhaitable de compléter l'étude par des mesures sur d'autres terrains.
- Notre modèle peut avoir son application immédiate car le logiciel existe (SAS). Par contre, notre programmation est susceptible d'amélioration. Pour l'optimiser, il sera intéressant de trouver une procédure d'estimation de paramètres plus fiable.

Il faut toujours se dire qu'un modèle compliqué peut être étudié en partant de modèles plus simples, comme le nôtre. Des évolutions postérieures du modèle pourraient donc tenir compte :

- de mesures de performances de la roue (roulement, effort de traction, ...) ;
- de la liaison roue/sol ;
- du système (poids, vitesse, la force de la pesanteur, ...).

Des études comme celle de HONG T. (1990), peuvent être un complément dans l'approfondissement de notre modèle proposé.

La modélisation peut être poussée jusqu'à l'établissement d'abaques (pour chaque classe de glissement) en fonction des différents types de sol et de leurs caractéristiques.

D'une manière générale, nous pouvons dire que, les difficultés auxquelles se heurte l'agriculteur de montagne, sont réelles. Mais les problèmes peuvent certainement être résolus au plan technique si les contraintes économiques le demandent et si le facteur humain ne s'y oppose pas.

Pour notre part, nous pensons qu'il s'agit donc d'aller plus loin. Il faut partir de la réalité existante et tout d'abord mieux connaître les populations auxquelles on a affaire, les enjeux et les difficultés concrètes qui sont ou ne sont pas pris en compte.

Certes, des études comme celles de CAUMONT A. et LEPETIT J., ont été menées pour élucider un peu le problème de la mise en valeur de ces zones difficiles, mais nous pensons qu'il s'agit d'analyser leur fonctionnement et de mettre en évidence les contraintes de toute nature qui entravent leur développement. C'est selon nous, une démarche obligatoire et riche d'enseignement : obligatoire, si l'on veut dépasser le stade de discours, riche d'enseignement, dans la mesure où elle intègre la réalité quotidienne des agriculteurs (éleveurs) et des praticiens du développement qui préparent à des réponses plus adaptées à la demande.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEKKER M.G., 1956 - In Theory of land locomotion. The University of Michigan press, Ann. Arbor.
- CAPILLON A., MANICHON H., 1978 - Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles. Principes, application au développement agricole régional. Séance Académie Agricole Français, 1168-78.
- CAUMONT A., 1982 - Techniques de mécanisation en zones de montagne. CEEMAT, Mission d'Investigations dans les Alpes Françaises. 25 Juin 1982. 51 p. + Annexes.
- GOYET A., 1989 - Liaison tracteur-outil. Centre de formation RENAULT.
- Etude du CNEEMA N° 173 - Réaction sol-tracteur, Ministère de l'Agriculture, Direction de l'Agronomie Rurale et des Structure, Paris.
- Etude du CNEEMA N° 361 - Interprétation des bulletins résumés d'essais de tracteurs, Paris 1971, 52 p.
- GARON I., 1990 - Etude d'une chaîne de mesures de terrain pour matériels agricoles. Mémoire, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Travaux Ruraux et de Techniques Sanitaires, Strasbourg, 125 p.
- HONG T., 1990 - Contribution à la modélisation des performances de traction d'un tracteur agricole au labour. Thèse présentée à l'ENSA de Montpellier.
- JACQUIN E., 1990 - Etude d'une méthode de mesure des efforts dans l'attelage du couple tracteur-outil porté. Mémoire ESAT 1 (CNEARC).
- LEPETIT J., 1989 - Mécanisation de montagne. Rapport d'activité REGION/CEEMAT, Antenne de La Réunion. 109 p.
- LEPETIT J., PAILLAT J.M., 1989 - Mécanisation des exploitations d'élevage. Motorisation adaptée aux fortes pentes. Rapport d'activité CEEMAT, Antenne de La Réunion.
- OSTY P.L., 1978 - L'exploitation agricole vue comme un système de diffusion de l'innovation et contribution au développement. BTI, 326, 43,9.
- PAILLAT J.M., 1987 - Caractéristiques et tarifs 1986 pour les principaux tracteurs et transporteurs adaptés aux zones de montagne.
- PERRET S., 1989 - Caractérisation physique et mécanique des sols andiques de l'île de La Réunion. Présentation des premiers résultats analytiques 1989, Rapport CEEMAT, 15 p. + Annexes.
- RAUNET M., 1991 - Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole. IRAT/CIRAD, 1991, 438 p. + Annexes.
- ROSELLO V., 1984 - Les sols bruns des Hauts, île de La Réunion. Caractérisation minéralogique et micro-structurale de matériaux andosoliques. Reconnaissance expérimentale de leur comportement. Thèse de spécialité, Université PARIS VII.

ANNEXE 1

TRACTEURS ET TRANSPORTEURS DE MONTAGNE

*** Caractéristiques non exhaustifs, se référer aux caractéristiques et tarifs présentés par PAILLAT J.M. , 1987**

TYPE - MARQUE	PUISSANCE	EQUIPEMENT
RASANT BERG - TRAK	22ch 4RM	Faucheuse-Tondobroyeuse Andaineur - Faneur centrifuge Fauche à fourrage
RASANT WEINBERG TRAK	22ch 6RM	Idem BERG TRAK épandeur engrais pulvérisateur - atomiseur
REFORM METRAC 2002 TM 800	22ch 4RM	Faucheuse -Andaineur Râteau - Faneur centrifuge
BUCHER TRACTO MOBIL TM 800	24ch 4RM	Débroussailluse - Rabot Pelle frontale - épandeur engrais - Faneur centrifuge Andaineur
RAPID MT 250	27ch 4RM	Faucheuse -Andaineur Epandeur engrais Faneur centrifuge Plateau arrière
AEBI TERRATRAC TM33	27ch 4RM	Faucheuse-Tondobroyeuse Epandeur engrais -Lame Faneur-andaineur - Pelle
BUCHER TM 850	30 ch 4RM	Débroussailluse - Rabot Pelle frontale - épandeur engrais - Faneur centrifuge Andaineur
RASANT KOMBI-TRAK 1203	31ch 4RM	Faucheuse - Râteau-andain. Lame -Fourche -Epandeur engrais - Tondobroyeuse
RASANT 1703	38ch 4RM	Idem KOMBI 1203

TYPE - MARQUE	PUISSANCE	EQUIPEMENT
REFORM METRAC 3003	38ch 4RM	Faucheuse-Râteau faneur Fourche-Lame-Epandeur engrais-Débroussailluse
AEBI TERRATRAC TT77	43ch 4RM	Faucheuse-Faneur-Râteau conditionneuse-Epandeur engrais-Tondobroyeuse
BUCHER TM 1000	48ch 4RM	Faucheuse-Faneur-Râteau conditionneuse-Epandeur Pulvérisateur-Lame
AEBI TP 88	57ch 4RM	Idem TERRATRAC TT77
PONIN VP 5000D	60ch 6RM	Faucheuse -Andaineur Outils 3points cat.2
CINAM MOUFLON 1800M	18ch 8RM	Giro andaineur Epandeur engrais -Lame Outils 3points
CINAM MOUFLON 1800TE CINAM MOUFLON 1800TE	18 ch 4chenilles	Débroussailluse - Rabot Giroandaineur-Epandeur engrais - Girobroyeur-Lame Outils 3points
CINAM MOUFLON 2800TE	27.4ch 4chenilles	Faucheuse - Râteau-andain. Lame -Epandeur engrais Ensileuse-Outils 3points
MASSEY-FERGUSON 234CP	46ch chenilles	Outils 3 points

ANNEXE 2

**COUT D'UTILISATION
DES DIFFERENTS MATERIELS**

COUT D'UTILISATION DU MATERIEL

Selon le principe du calcul des coûts d'utilisation du matériel proposé par le BCMEA, il est possible de simuler l'utilisation d'un matériel de montagne sur une exploitation.

Mouflon et ses outils

	Durée d'utilisation annuelle (h)	Durée d'amortisse- ment (an)	Coût horaire (F/h)	Temps de travaux (h/ha)	Coût total à l'hectare (F/ha)	Utilisation mi- nime par rap- port au coût
Mouflon 2700	500 600 700 800	7 7 5 5	90 82 81 78			500 h
Récolteuse à fléaux	300 400 500	7 5 5	17 16 13	20	347 317 270	15 ha
Girrobroyeur	50 100 150	10 10 7	36 22 19	10	360 220 190	5 ha
Epandeur d'engrais	50 100	7 7	22 14	0,5	12 7	50 ha
Epandeur de fumier	30 45 60	10 10 7	63 45 41	6	379 268 244	5 ha
Fourche à fumier	60 90	7 7	43 31	6	259 187	10 ha
Citerne à lisier	20 40 60	10 10 10	35 20 15	4	139 79 60	5 ha
Treuil (Idem uti- lisation du tracteur)	500 600 700 800	7 7 5 5	6 6 5 5			
Machine à bêcher	42 70 105	7 7 7	113 80 60		793 557 418	6 ha

Comparalson entre l'utilisation d'un tracteur Mouflon avec ses outils et un travail manuel

Affouragement en vert

Mécanisé	Manuel
Tracteur : $2 \text{ h/j} \times 78 \text{ F/h} = 156 \text{ F/j}$ Récolteuse : $2 \text{ h/j} \times 17 \text{ F/h} = 34 \text{ F/j}$ M.O. $2 \text{ h/j} \times 35 \text{ F/h} = 70 \text{ F/j}$ <hr/> 260 F/j	Ouvriers : $2 \times 4 \text{ h/j} \times 35 \text{ F/h} = 280 \text{ F/j}$ Tracteur : $0,25 \times 4 \text{ h/j} \times 78 \text{ F/h} = 78 \text{ F/j}$ <hr/> 358 F/j

L'économie réalisée peut s'élever à 100 F par jour (30000 F par an).

Epandage d'engrais (500 kg / ha)

Mécanisé	Manuel
Tracteur : $0,5 \text{ h/ha} \times 78 \text{ F/h} = 39 \text{ F/ha}$ Epandeur : $0,5 \text{ h/ha} \times 22 \text{ F/h} = 11 \text{ F/ha}$ M.O. $0,5 \text{ h/ha} \times 35 \text{ F/h} = 17,5 \text{ F/ha}$ <hr/> 67,50 F/ha	Ouvriers : $8 \text{ h/ha} \times 35 \text{ F/h} = 280 \text{ F/ha}$ <hr/> 280 F/ha

Le coût d'une intervention mécanique est ridiculement bas par rapport aux épandages manuels, c'est un investissement prioritaire dans le cas de l'achat d'un Mouflon.

Epandage de fumier

Mécanisé	Manuel
Tracteur : 6 h/ha x 63 F/h = 468 F/ha Epandeur : 6 h/ha x 63 F/h = 378 F/ha M.O. 6 h/ha x 35 F/h = 210 F/ha <hr/> 1 056 F/ha	M.O. : 30 h/ha x 35 F/h = 1 050 F/ha <hr/> 1 050 F/ha

A partir de 5 hectares par an, l'utilisation d'un épandeur à fumier devient intéressante économiquement.

Bucher et ses outils

	Durée d'utilisation annuelle (h)	Durée d'amortisse- ment (an)	Coût horaire (F/h)	Temps de travaux (h/ha)	Coût total à l'hectare (F/ha)	Utilisation mini- male par rapport au coût
BUCHER TM 850	500	7	84			500 h
	600	7	74			
	700	7	69			
	800	7	68			
	900	5	66			
	1000	5	62			

	Durée d'utilisation annuelle (h)	Durée d'amortisse- ment (an)	Coût horaire (F/h)	Temps de travaux (h/ha)	Coût total à l'hectare (F/ha)	Utilisation mini- male par rapport au coût
Épandeur d'engrais	50	7	22	0,5	12	50 ha
	100	7	14		7	
Broyeur à axe horizontal	250	7	46	5	231	50 ha
	500	5	40		198	
	750	5	37		184	
Girobroyeur	50	7	16	5	81	10 ha
	100	7	13		65	
	150	5	12		58	
	200	5	11		57	
	250	3	11		53	
Fauçonneuse à disques	80	7	87	2	174	40 ha
	120	7	66		133	
	160	5	60		121	
Pulvérisateur	40	7	39	2	77	20 ha
	80	7	22		44	
	120	7	17		34	

Utilisation du BUCHER en CUMA

Dans les hauts de l'Ouest, une CUMA peut valoriser un tracteur de montagne BUCHER de la façon suivante :

- épandeur d'engrais	:	300 ha (3x100)	150 h
- broyeur à axe horizontal	:	50 ha	250 h
- girobroyeur	:	50 ha	250 h
- faucheuse à disques	:	40 ha	80 h
- pulvérisateur	:	20 ha	40 h

770 heures

Les éleveurs de vaches allaitantes, pour la majorité d'entre eux, sont intéressés par ces prestations.

ANNEXE 3

COURBES DE REFERENCE

Puissance/Consommation

du Bucher TM 850

(1.000 tr/mn - 2.900 tr/mn)

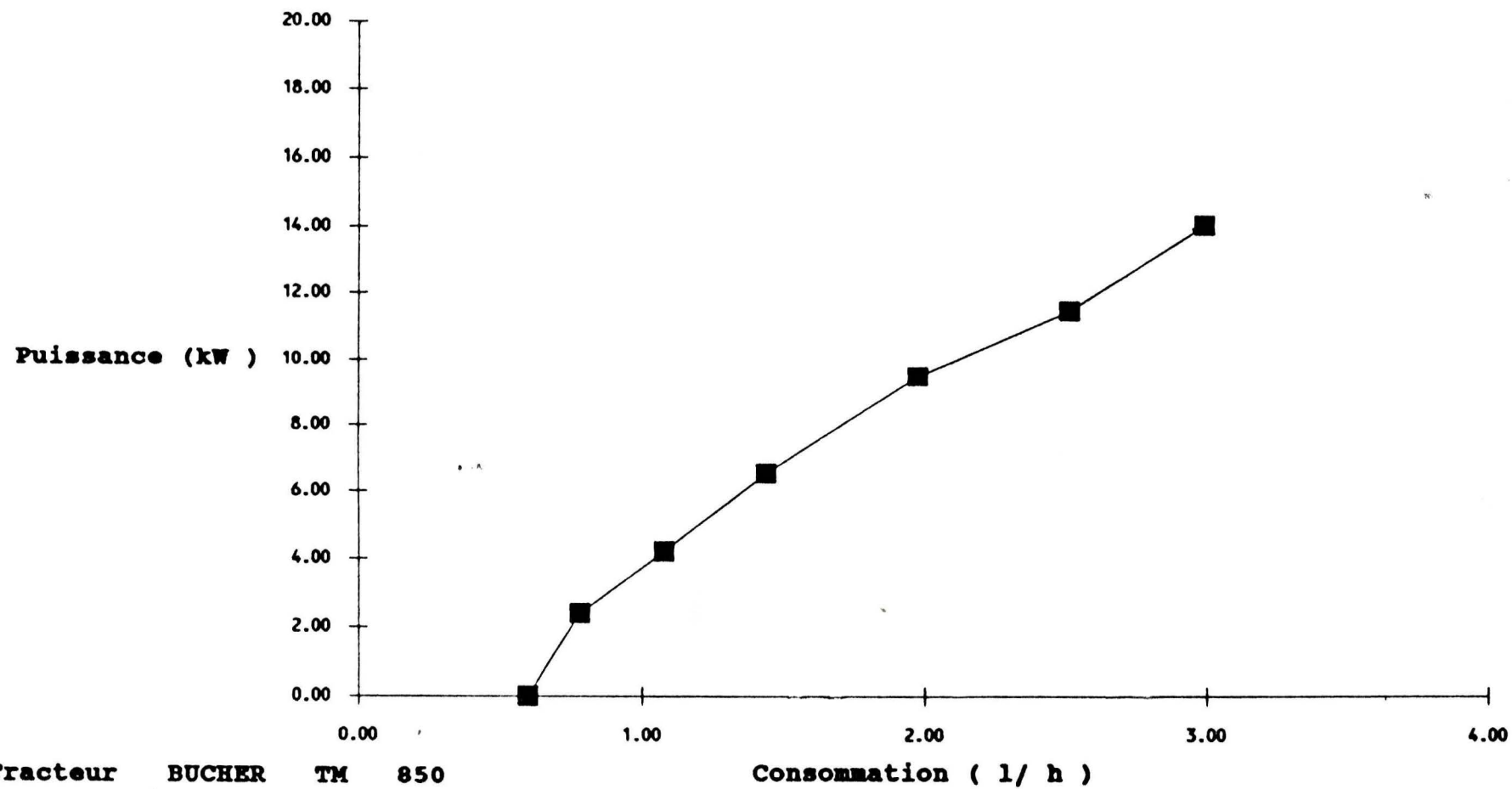
Avec une telle utilisation, les coûts sont les suivants (tracteur + outil + chauffeur) :

- épandage d'engrais : $68 + 11 + 70 = 149 \text{ F/h}$ ou 75 F/ha
- broyage fin (refus) : $68 + 46 + 70 = 184 \text{ F/h}$ ou 920 F/ha
- girobroyage (broussailles) : $68 + 11 + 70 = 149 \text{ F/h}$ ou 745 F/ha
- fauchage : $68 + 87 + 70 = 225 \text{ F/h}$ ou 450 F/ha
- herbicide : $68 + 39 + 70 = 177 \text{ F/h}$ ou 354 F/ha

N.B. : Le chauffeur est rémunéré à 70 F/h pour tenir compte des déplacements et temps improductifs.

COURBE DE REFERENCE

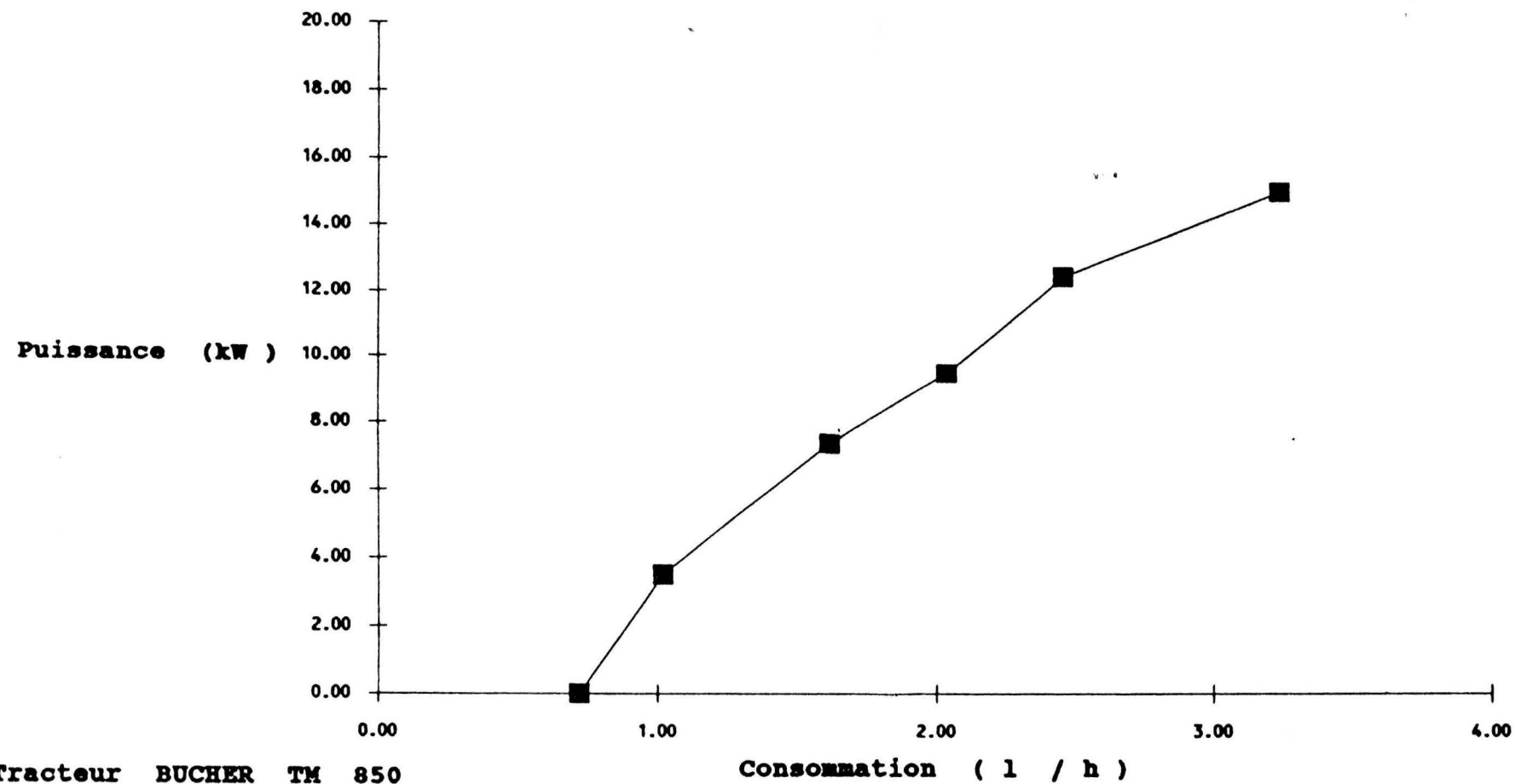
1000 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE 1100 tr / mn

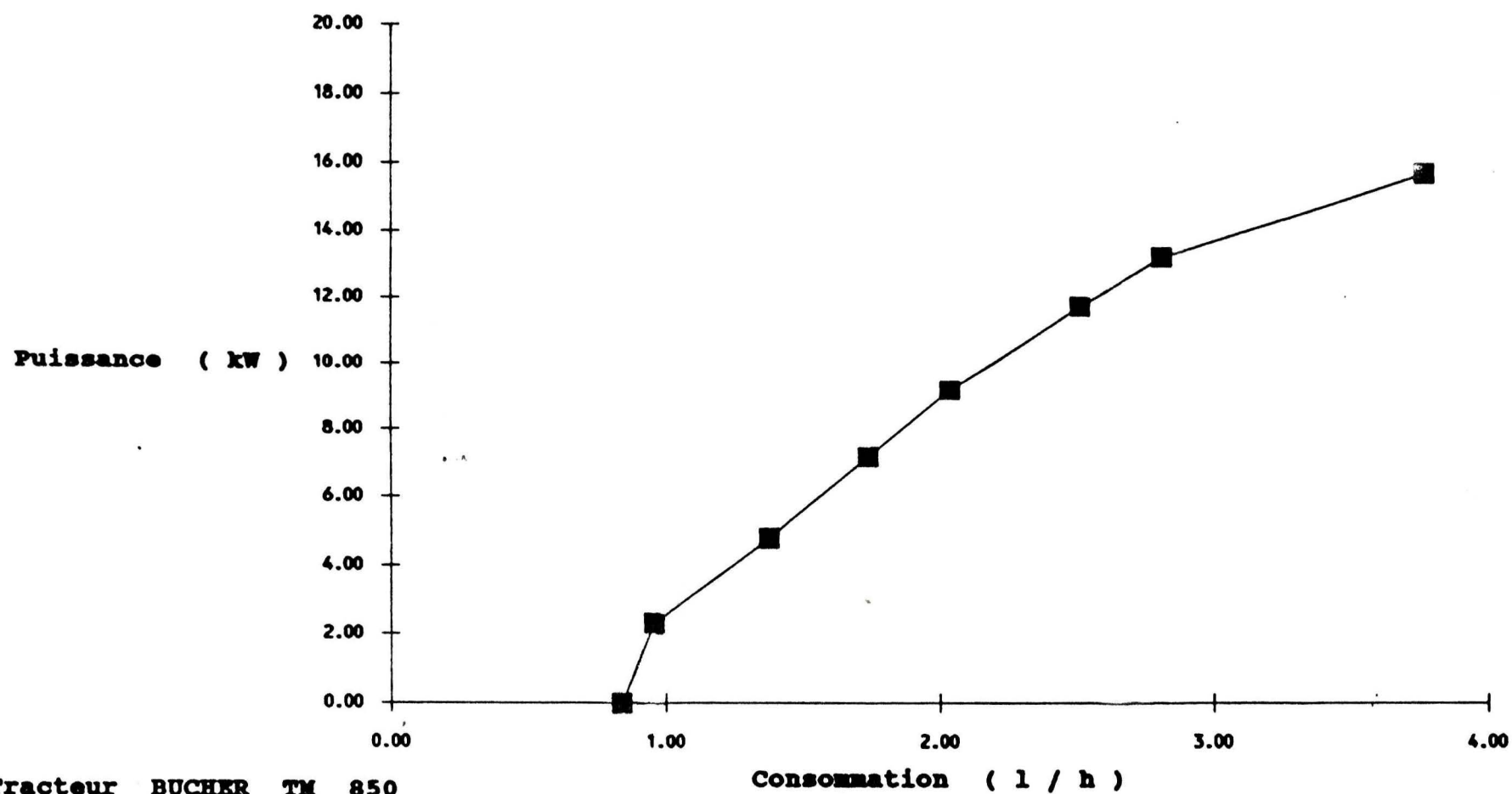


Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE

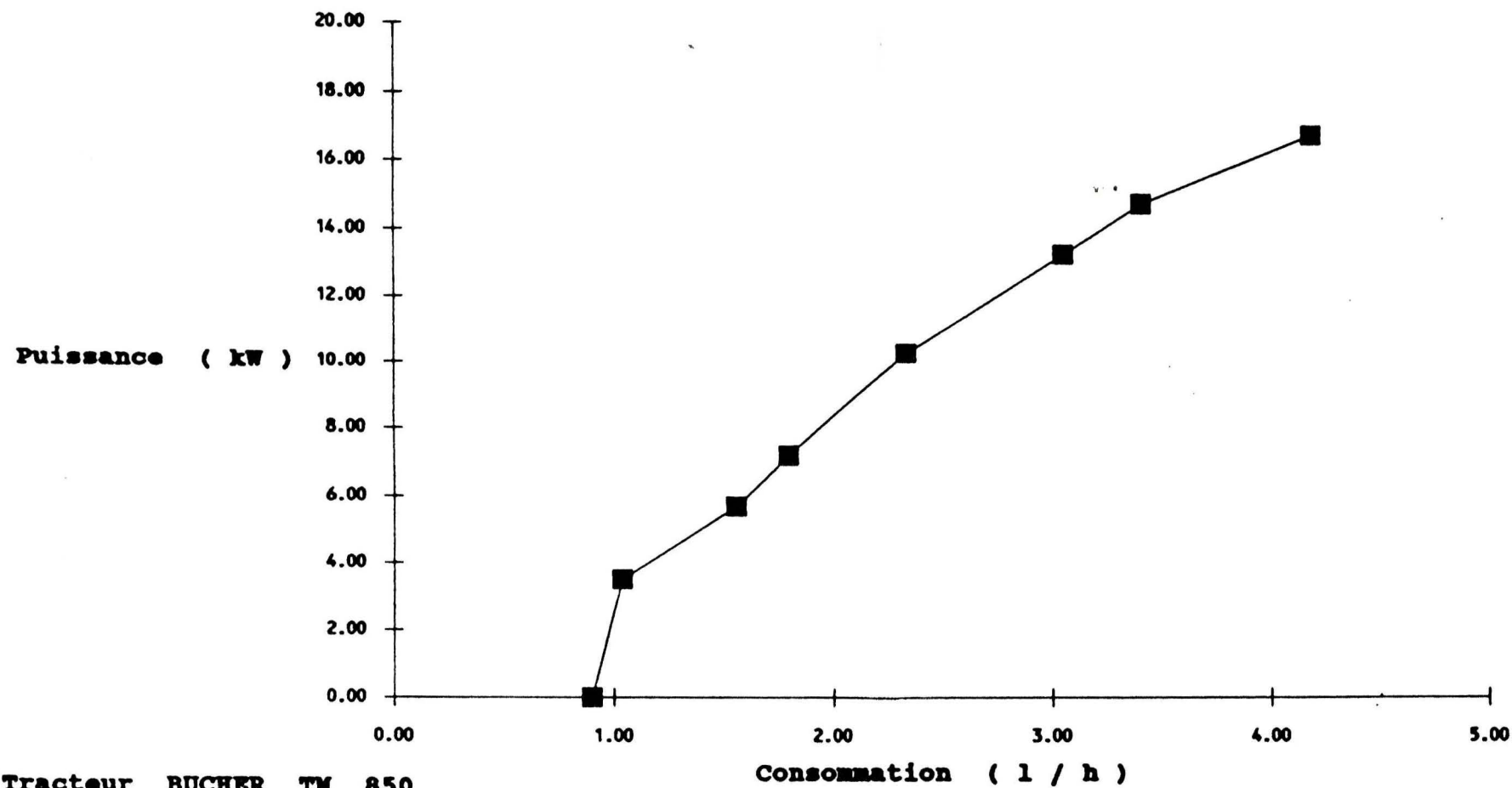
1200 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis Juillet 91

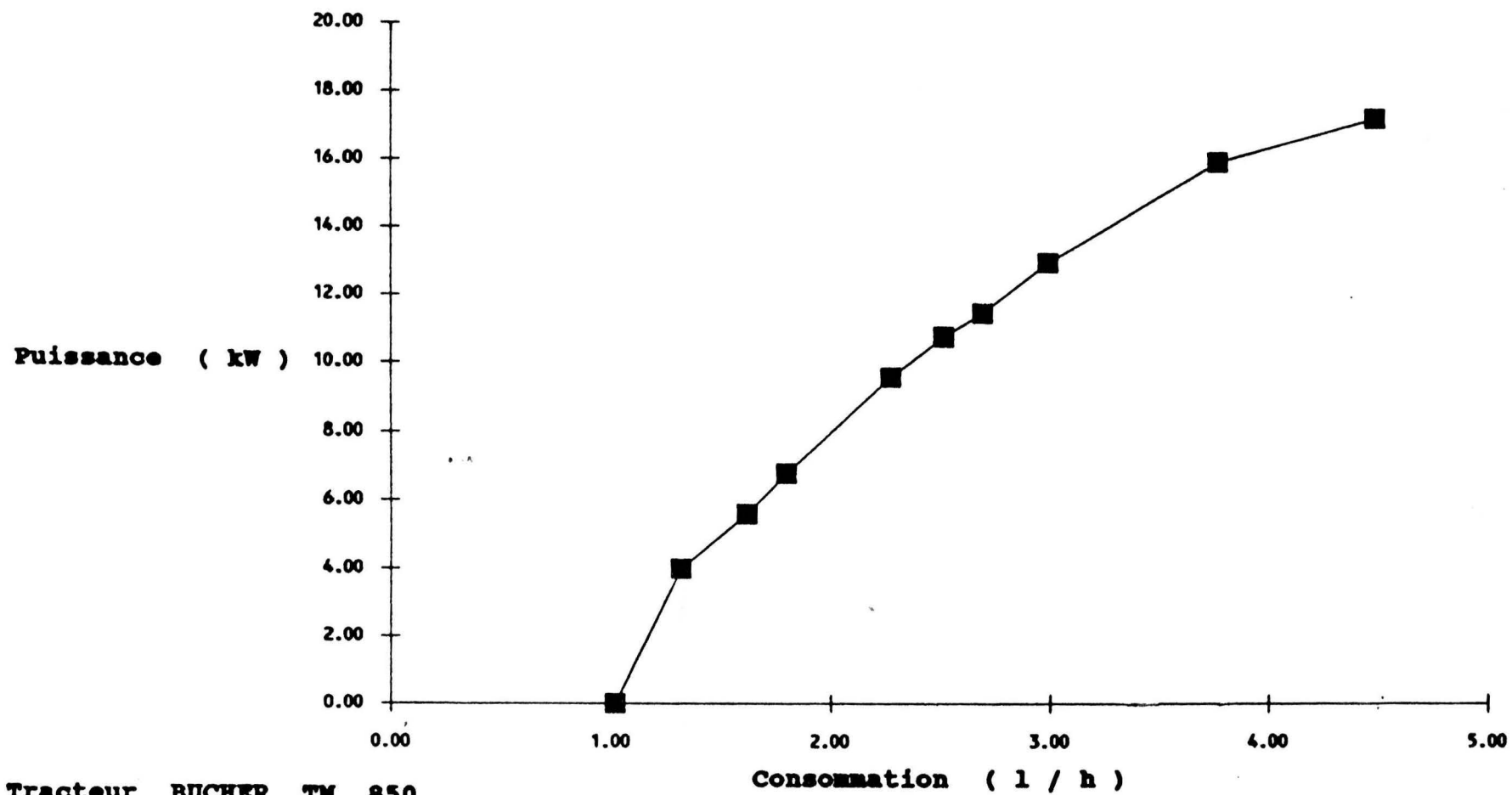
COURBE DE REFERENCE 1300 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE 1400.tr / mn

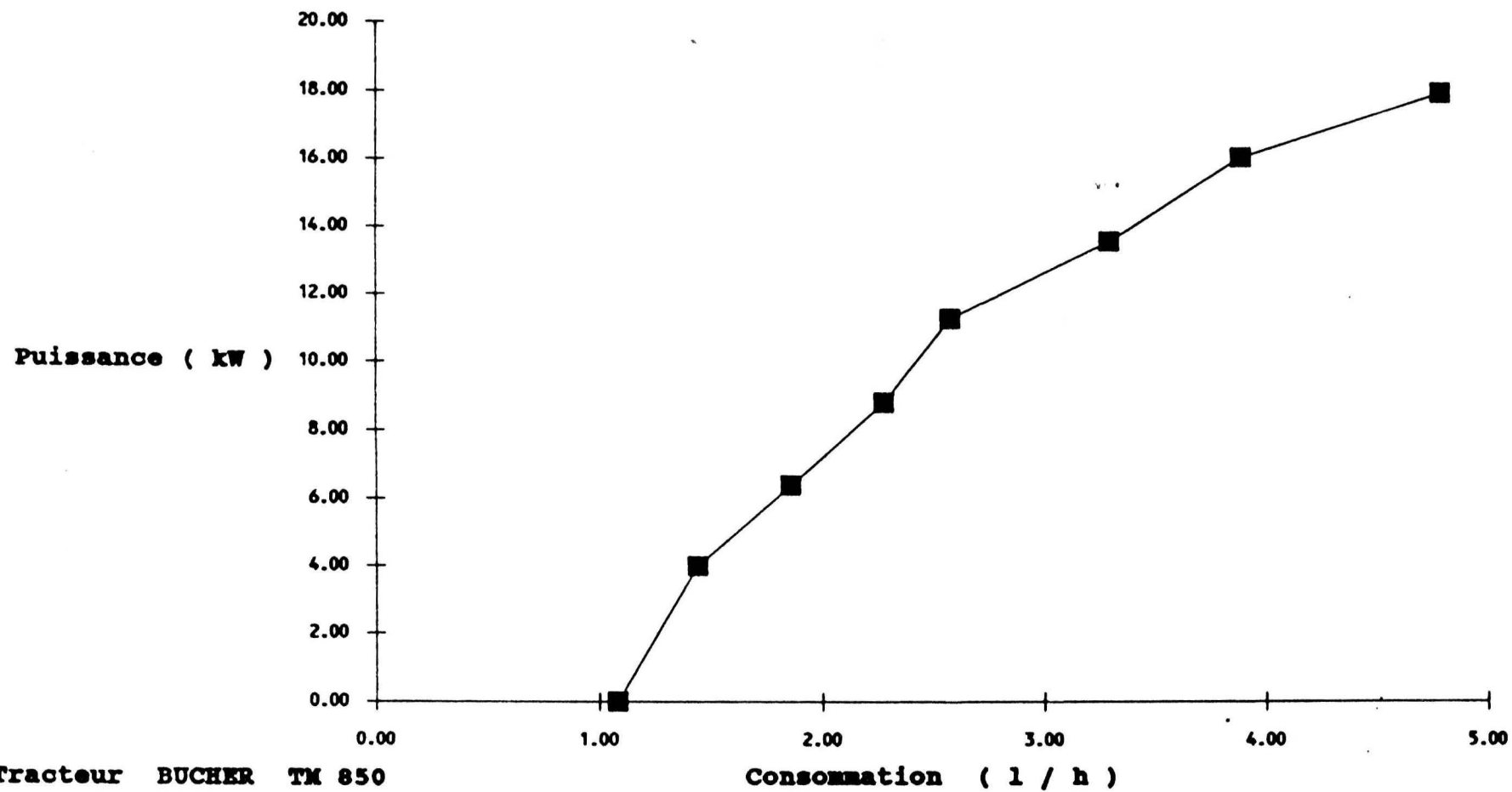


Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE

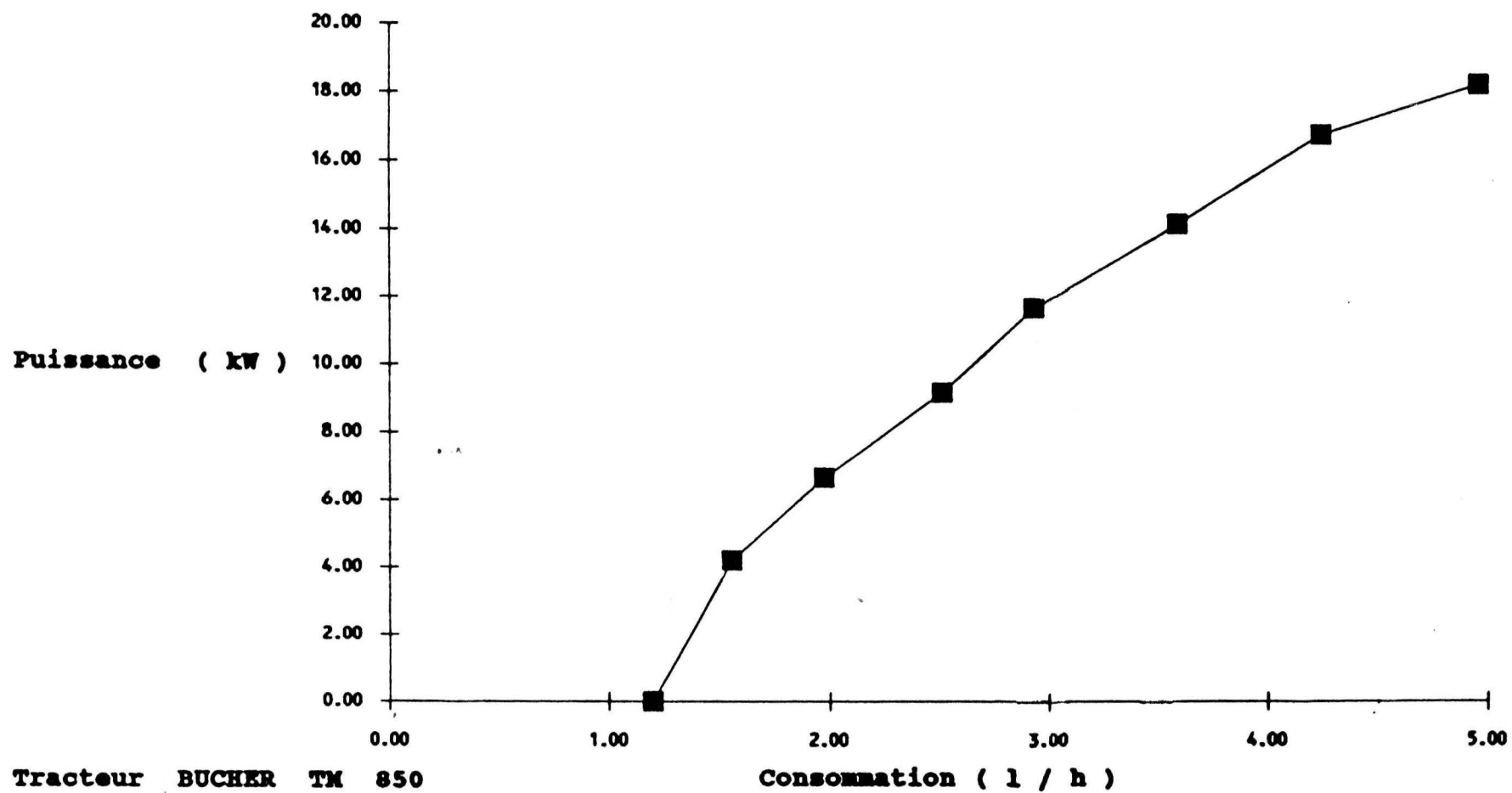
1500 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

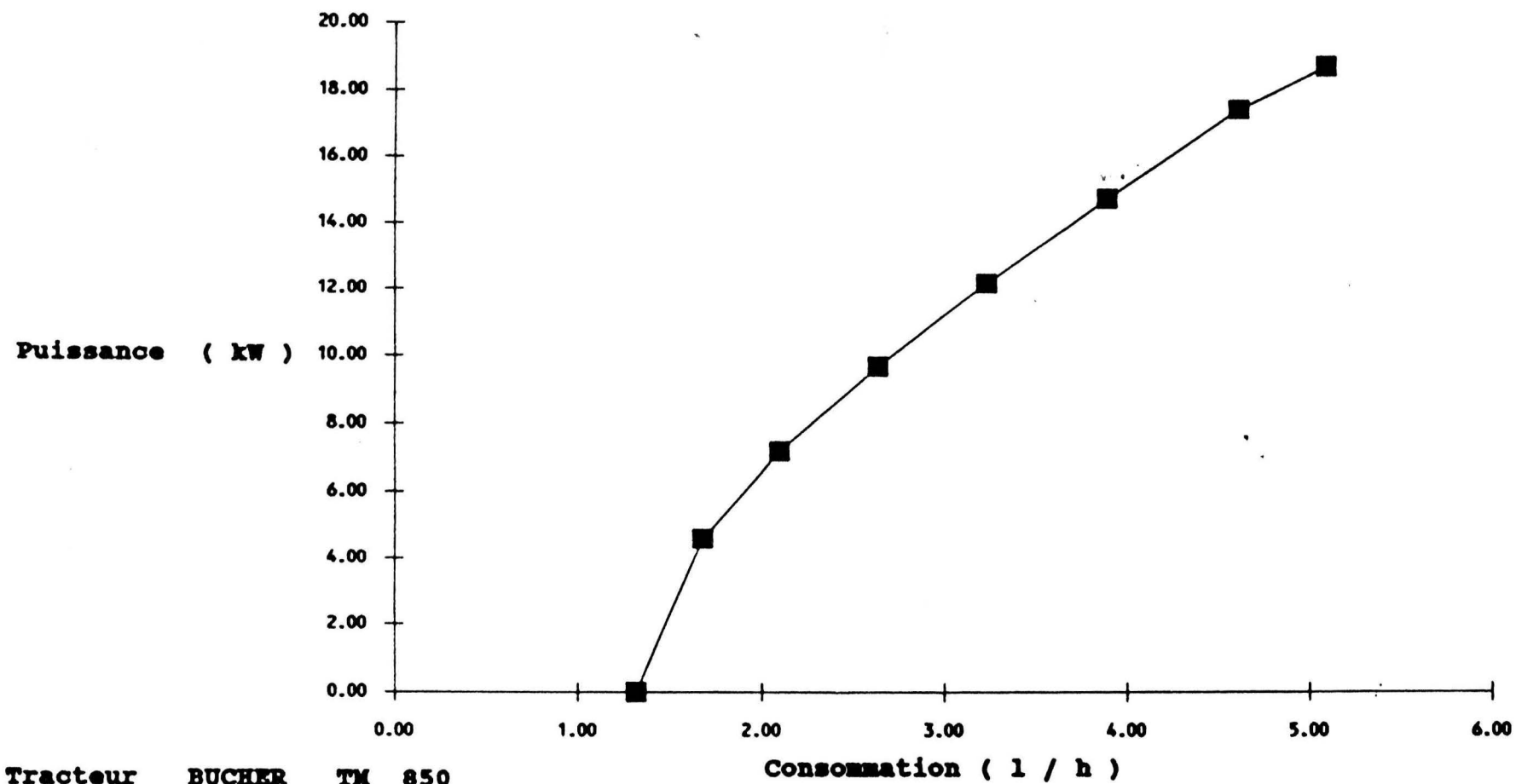
COURBE DE REFERENCE 1600 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

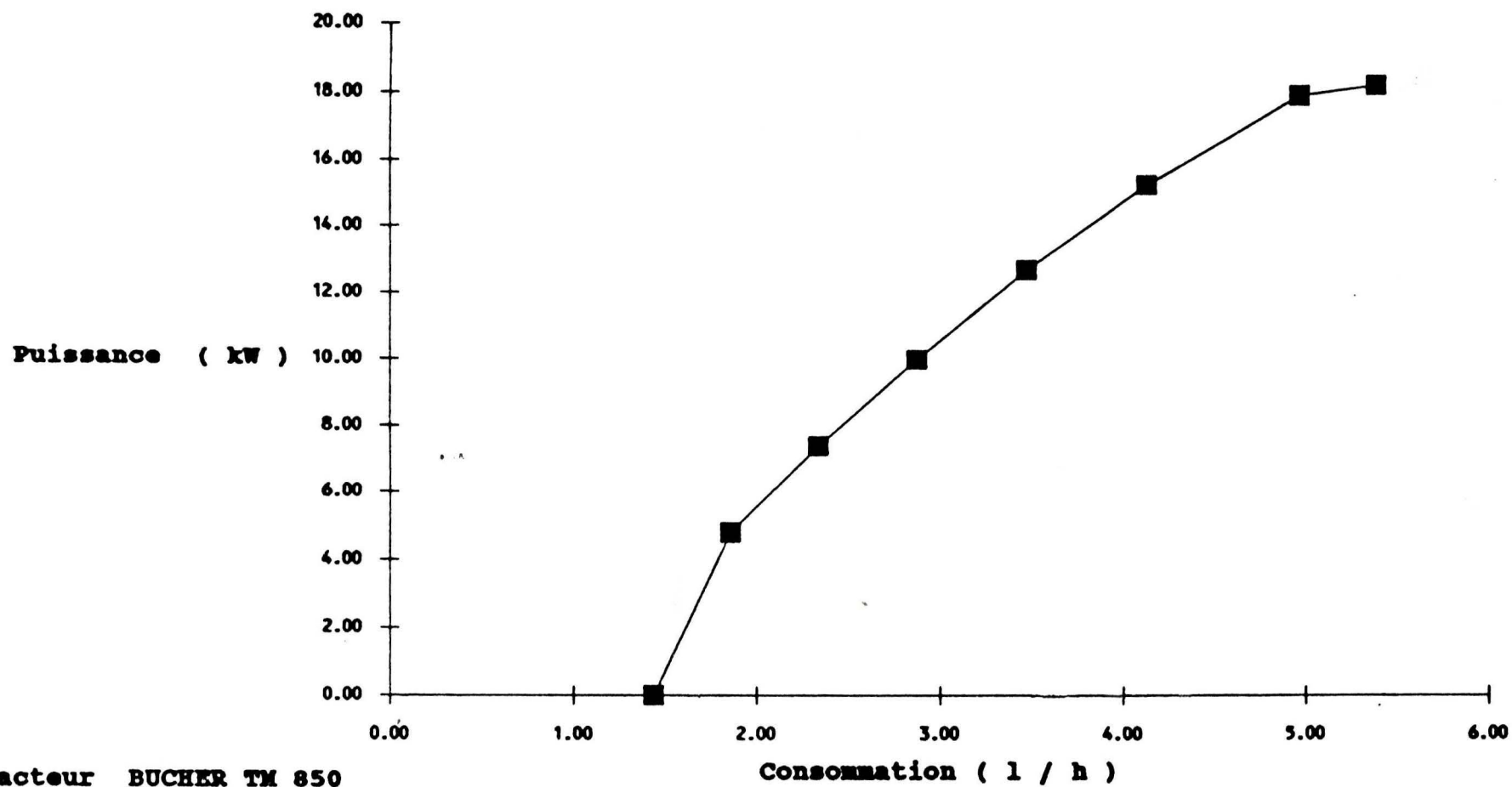
COURBE DE REFERENCE 1700 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

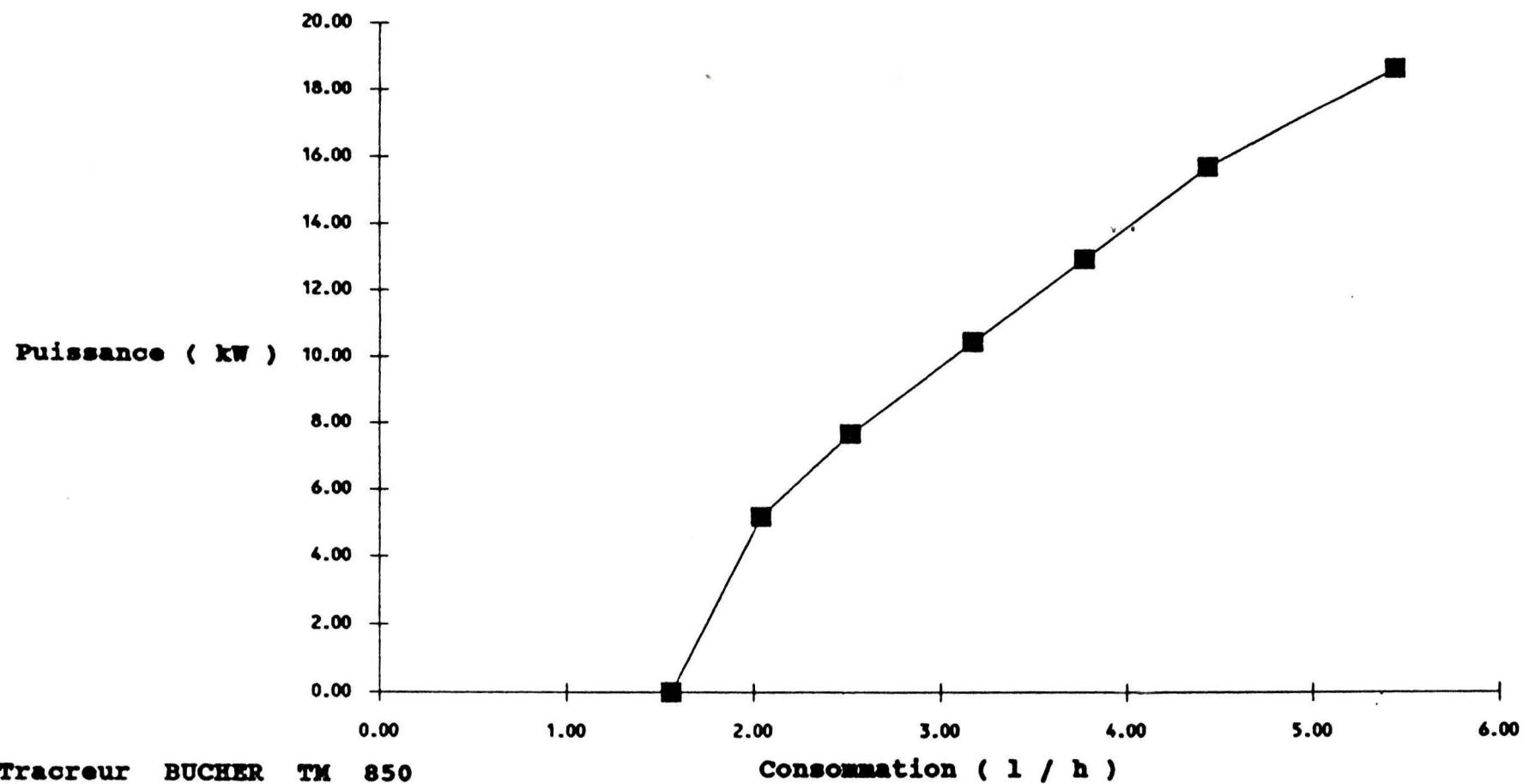
CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE 1800 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850
CEEMAT Saint-Denis juillet 91

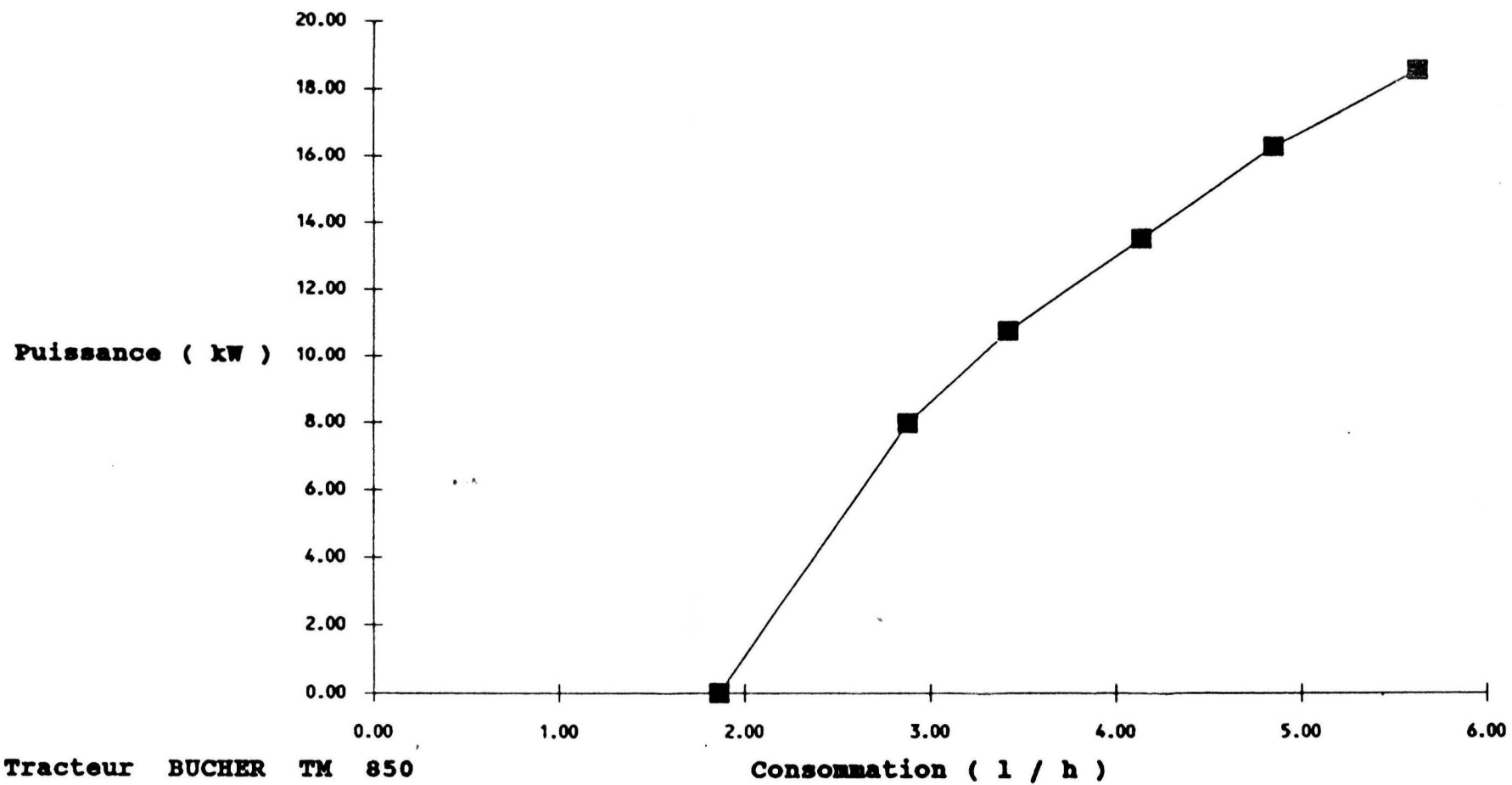
COURBE DE REFERENCE 1900 tr / mn



Traceur BUCHER TM 850

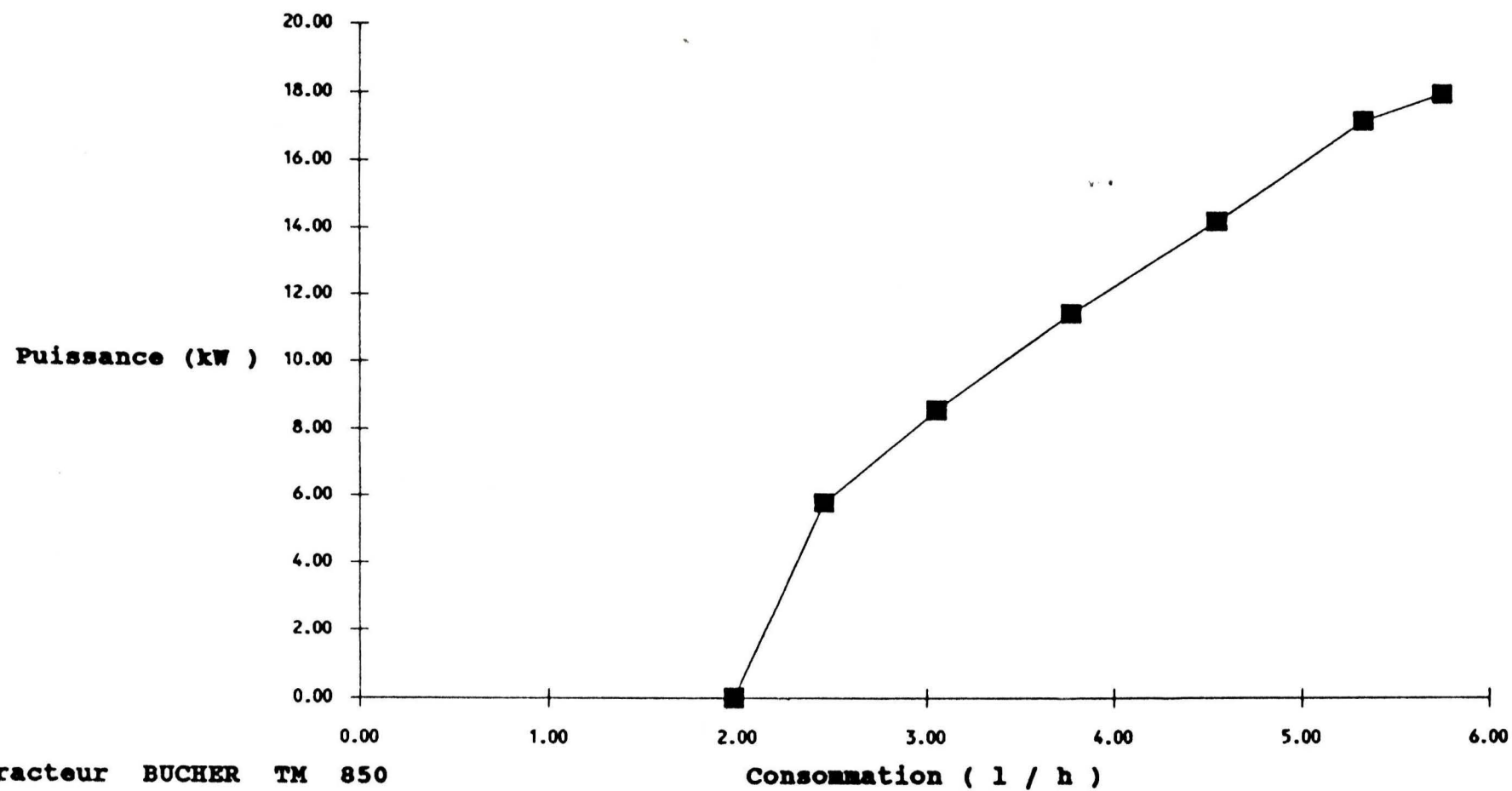
CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE 2000 tr / mn



CEEMAT Saint-Denis juillet 91

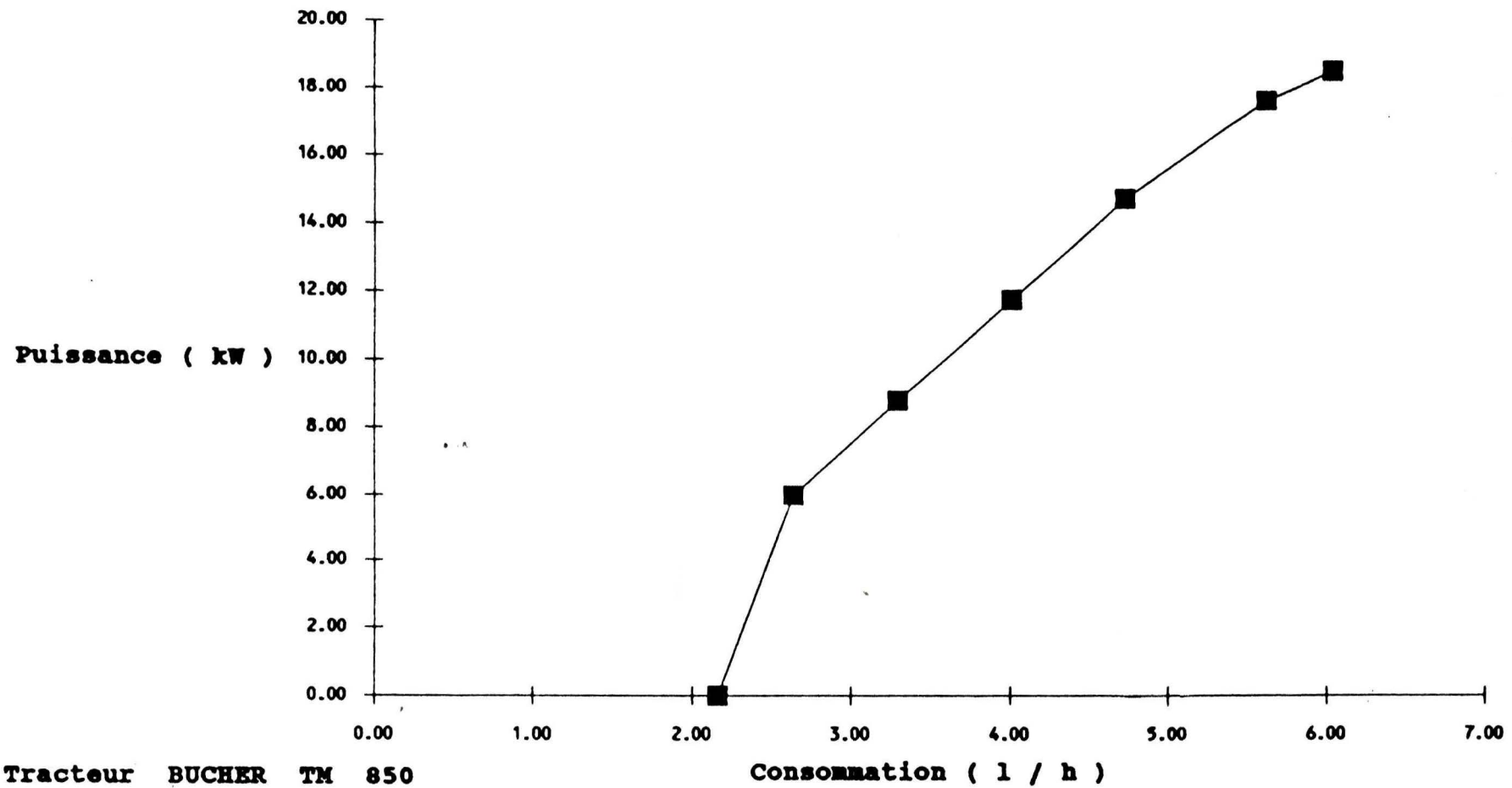
COURBE DE REFERENCE 2100 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

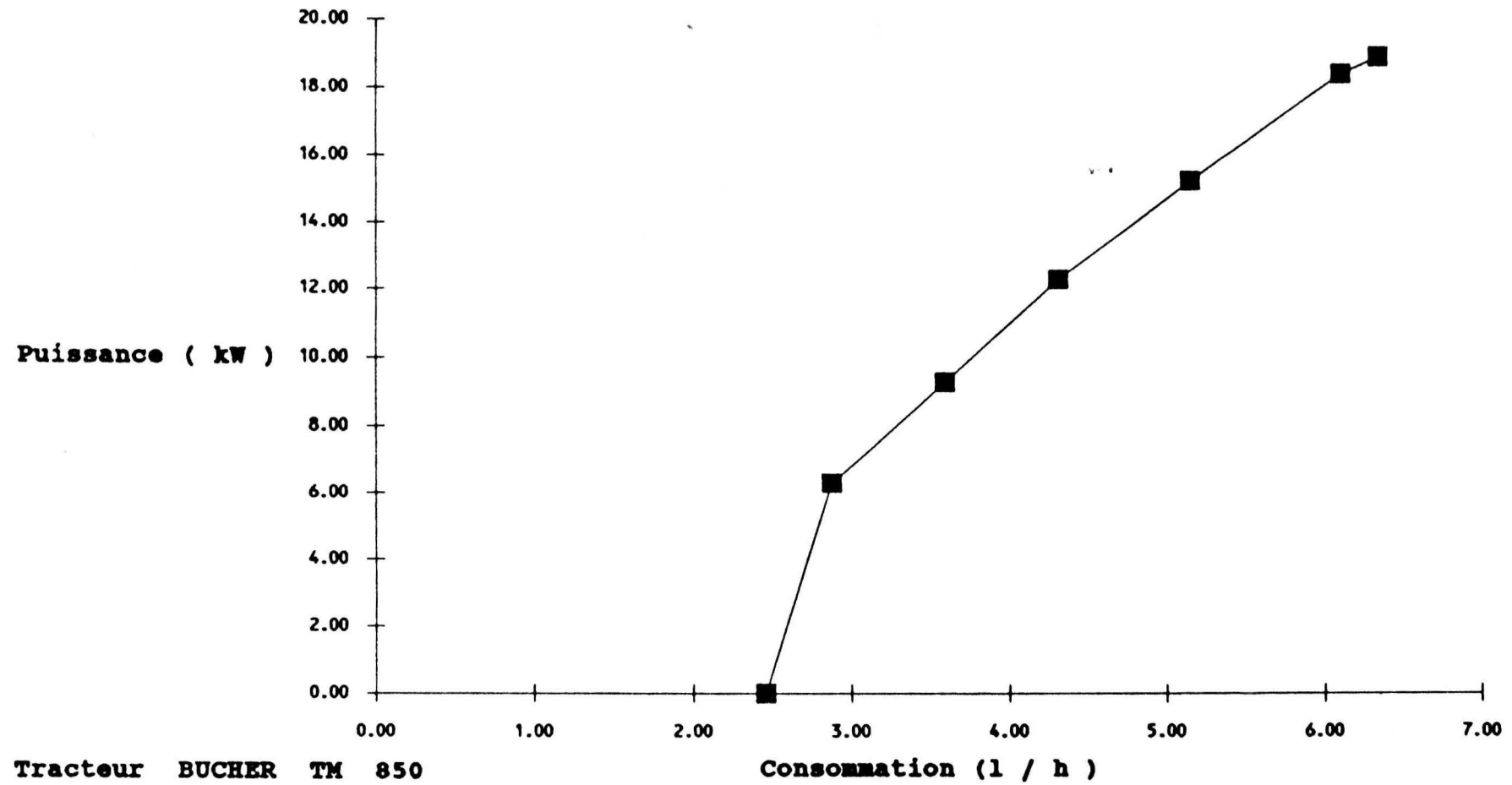
COURBE DE REFERENCE 2200 tr /mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

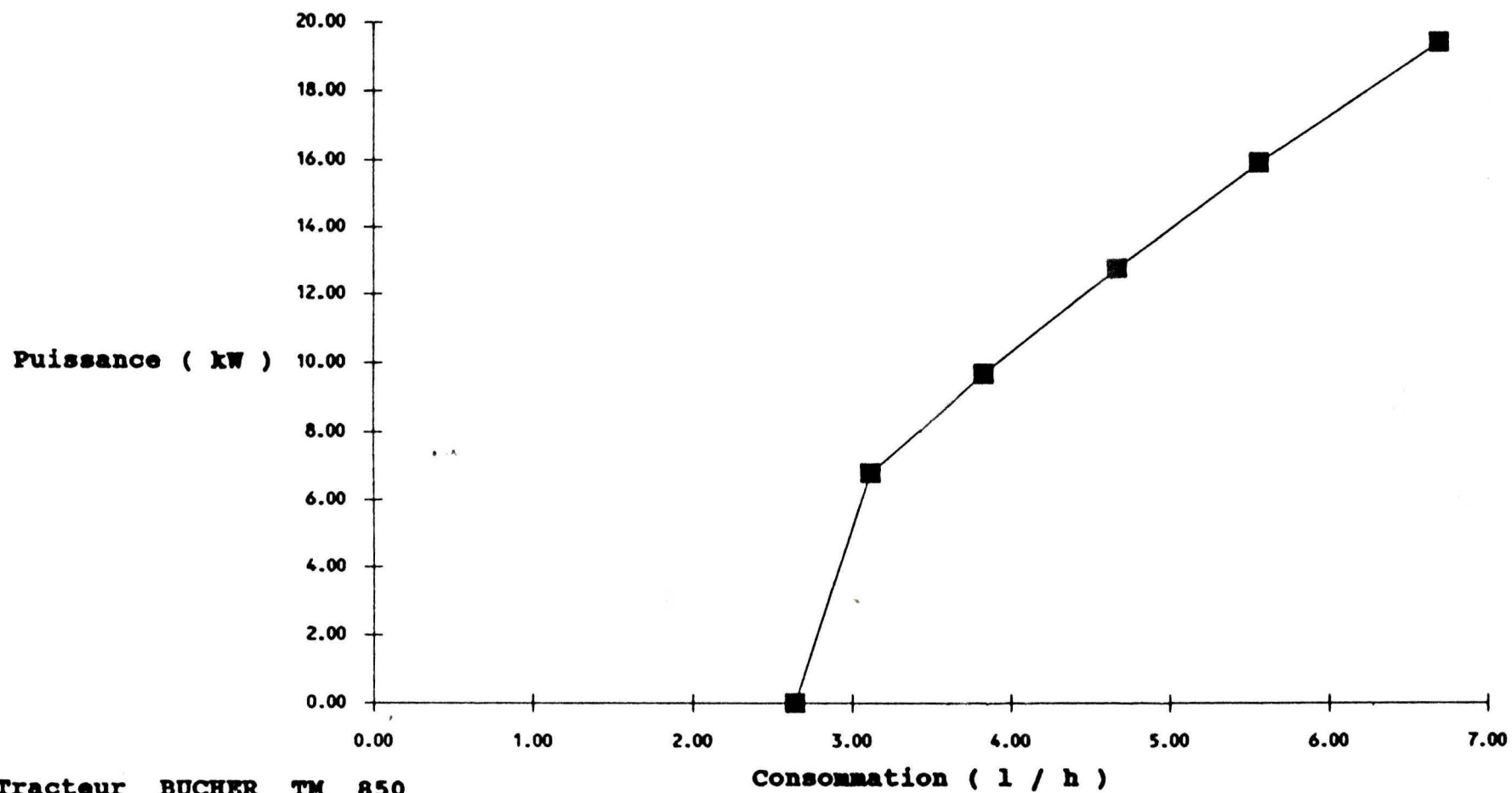
COURBE DE REFERENCE 2300 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

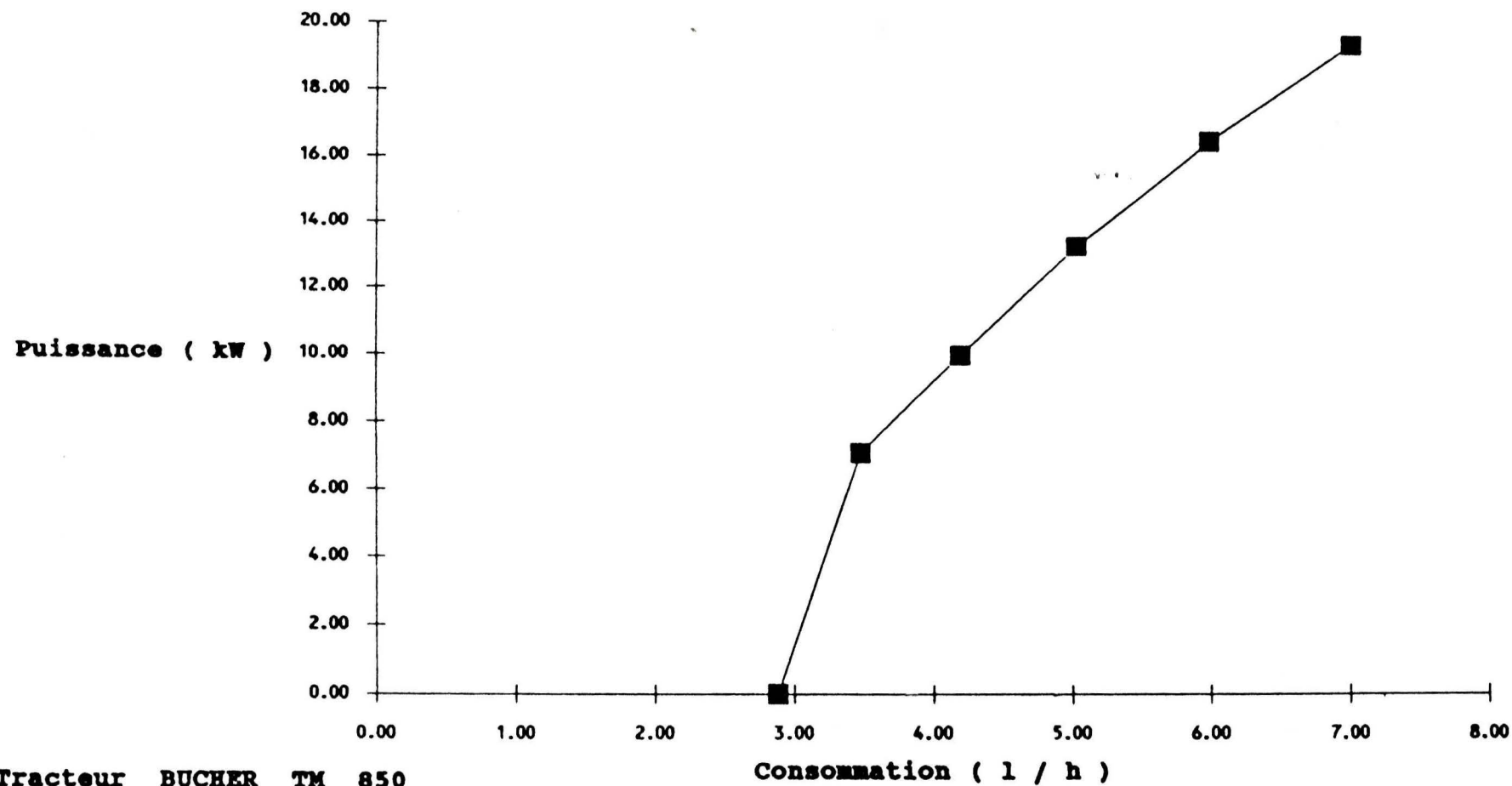
COURBE DE REFERENCE 2400 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

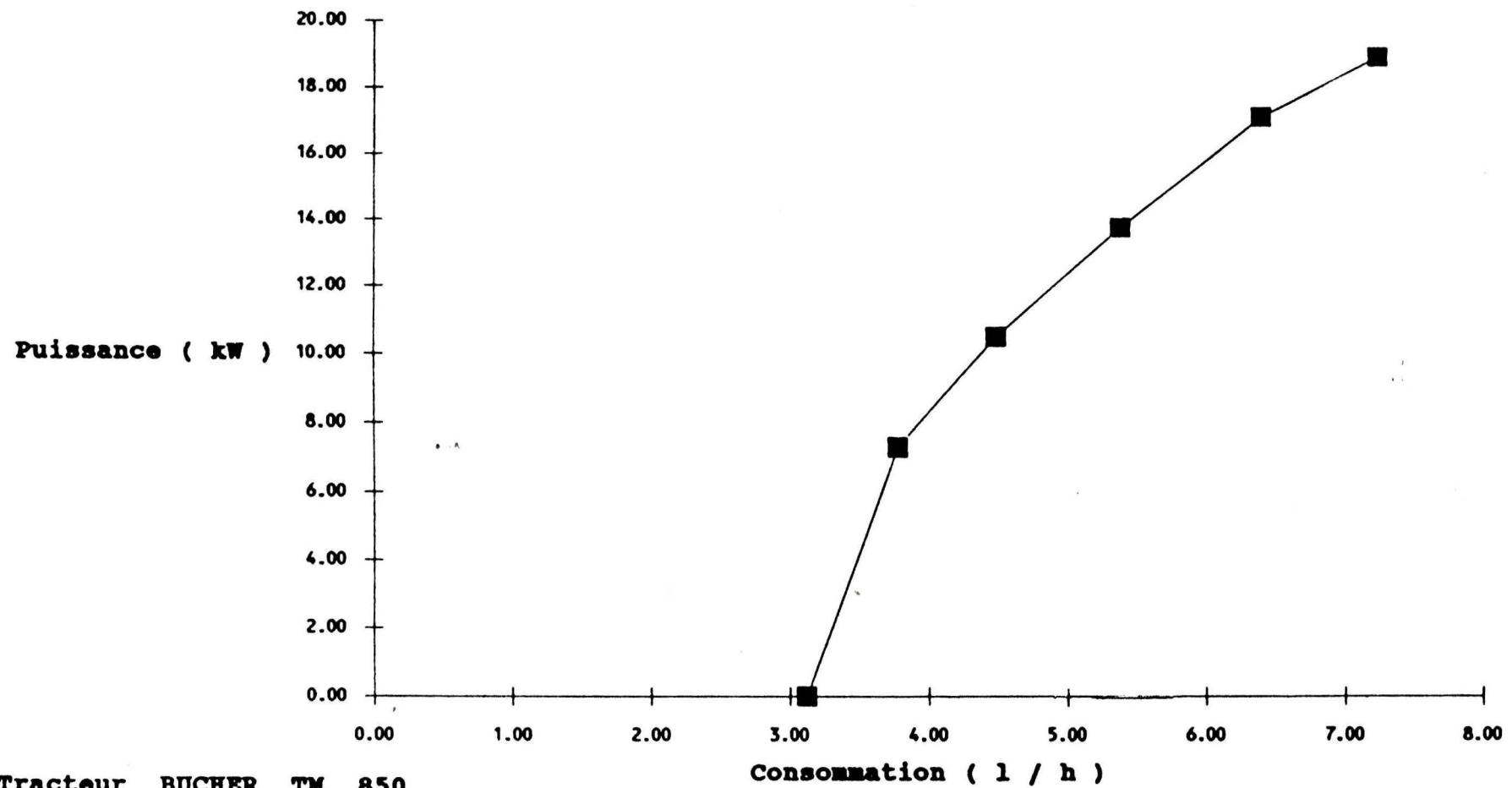
COURBE DE REFERENCE 2500 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

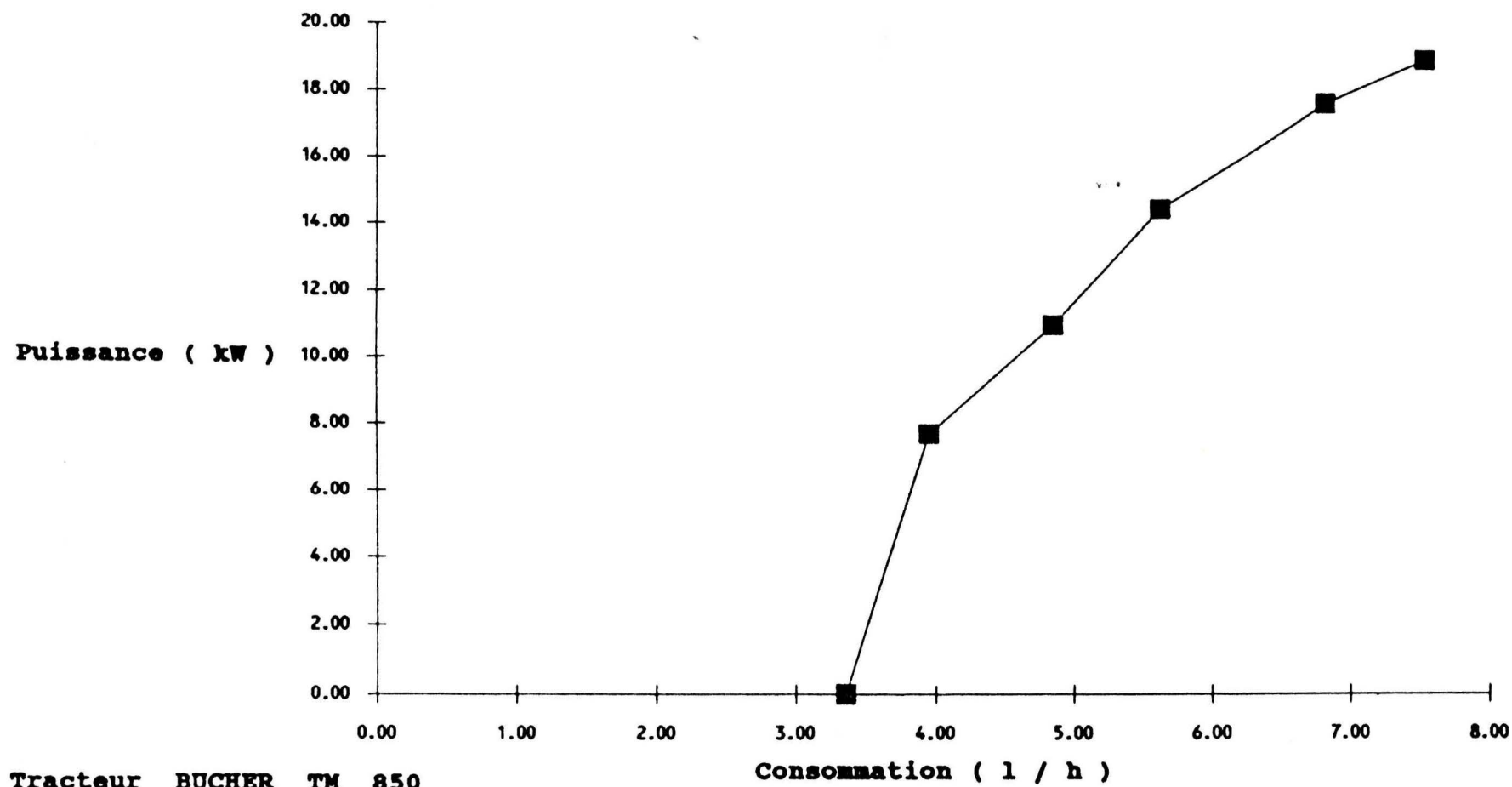
COURBE DE REFERENCE 2600 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

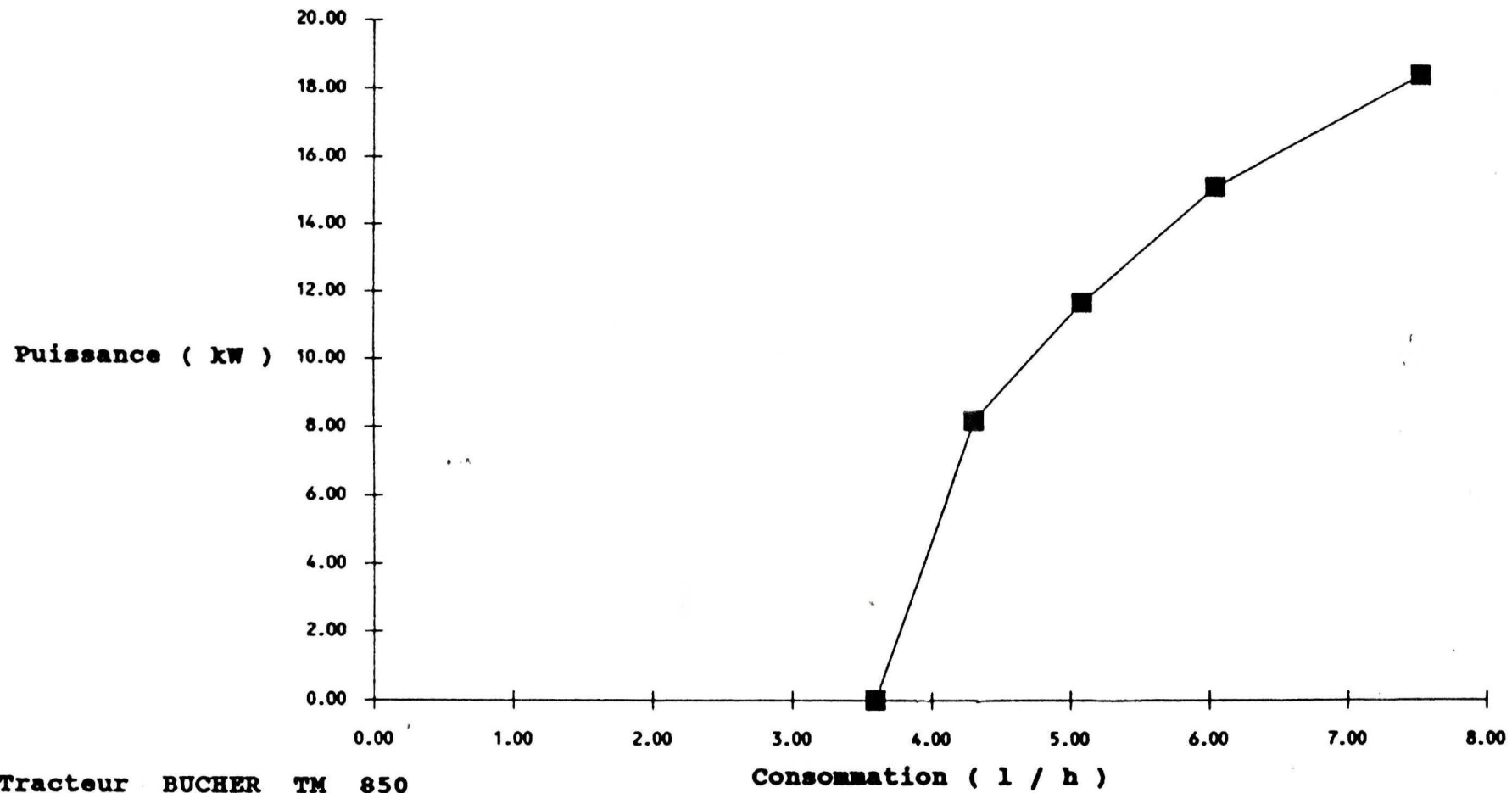
COURBE DE REFERENCE 2700 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

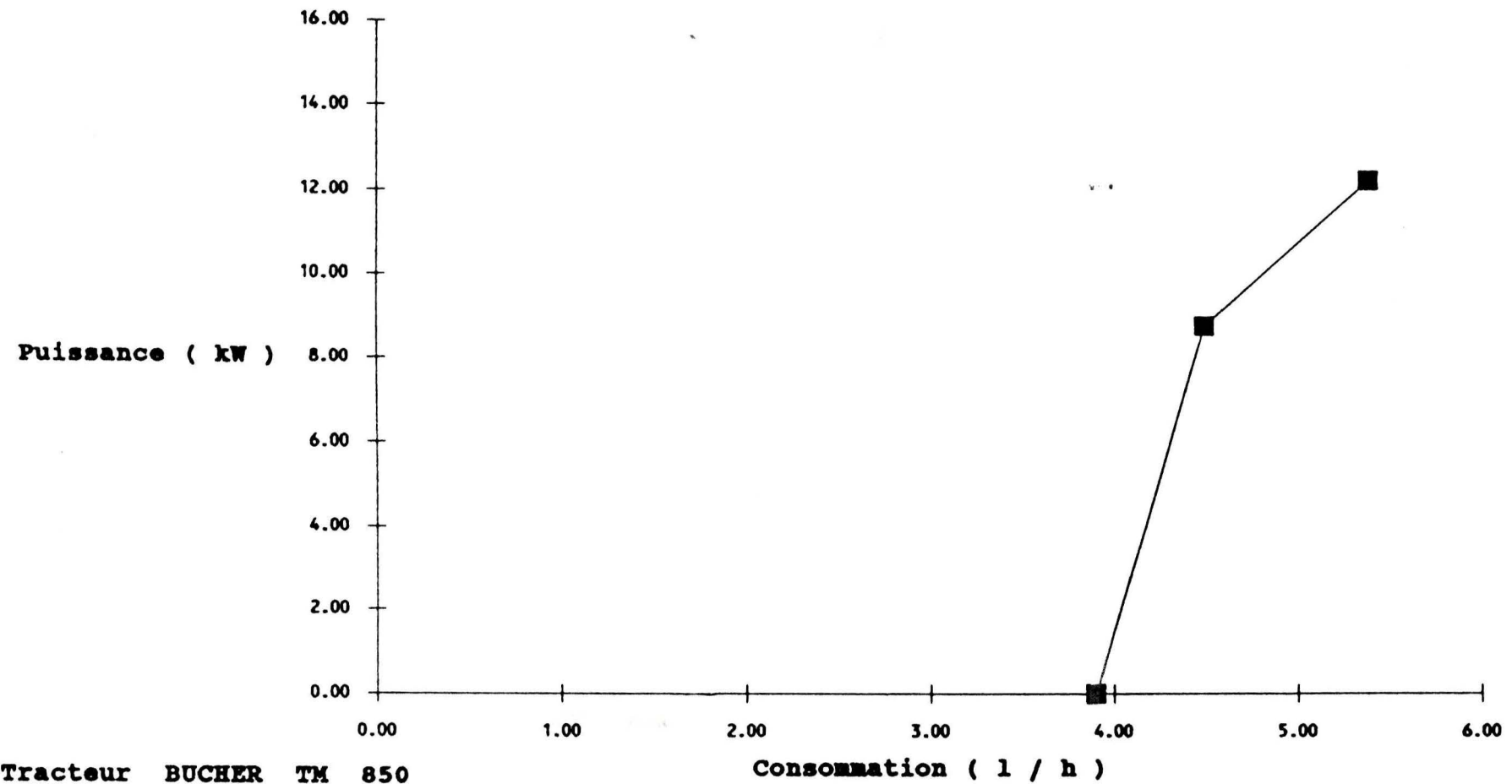
COURBE DE REFERENCE 2800 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

COURBE DE REFERENCE 2900 tr / mn



Tracteur BUCHER TM 850

CEEMAT Saint-Denis juillet 91

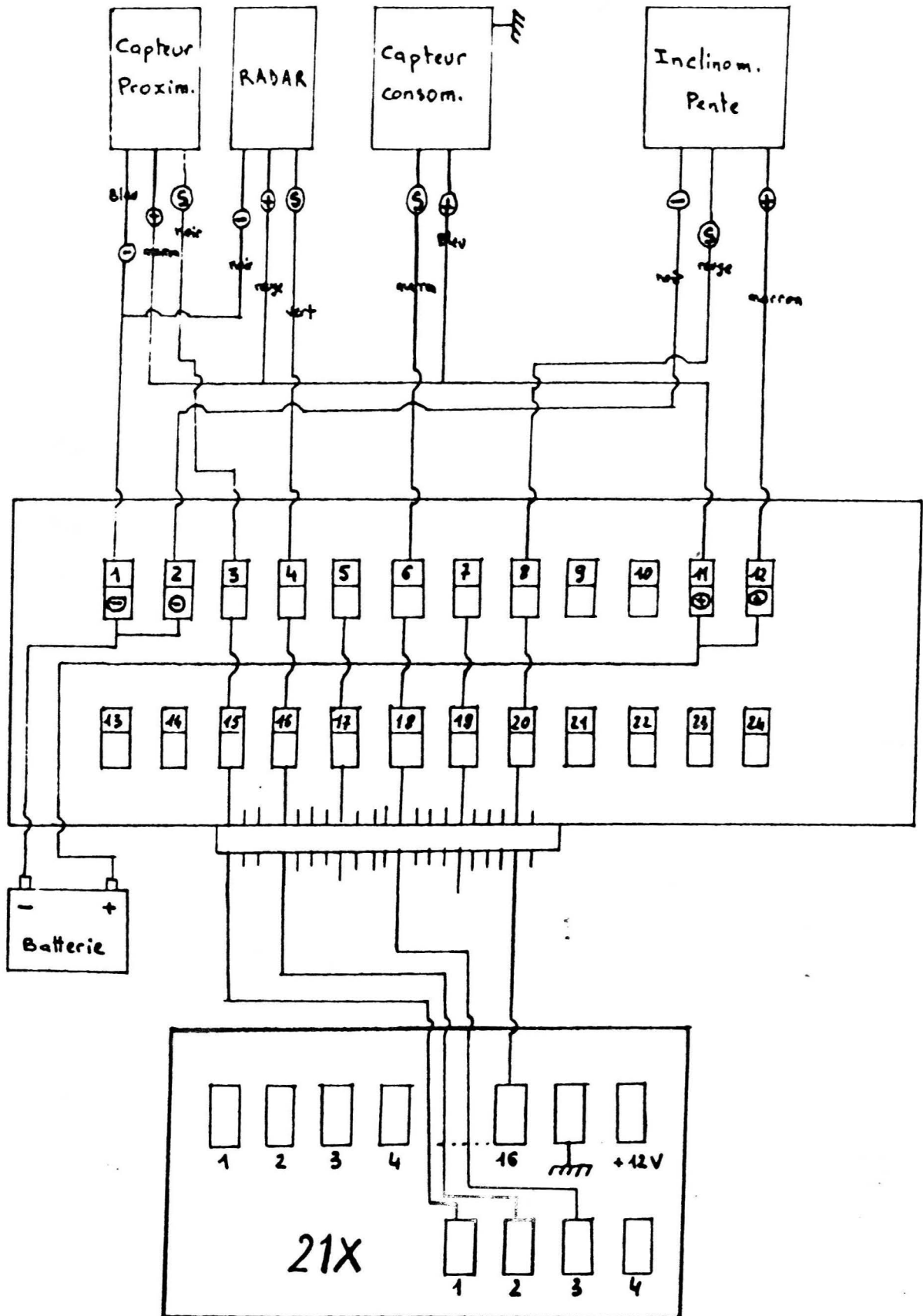
ANNEXE 4

CARACTERISTIQUES DES CAPTEURS UTILISES

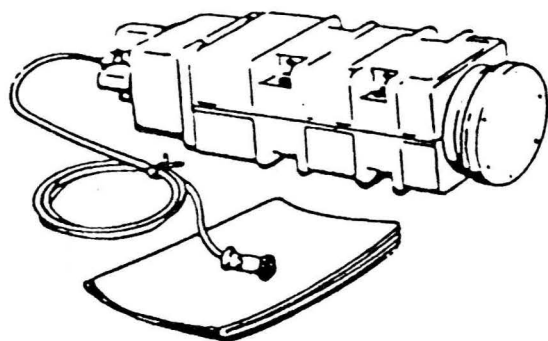
FICHE D'UTILISATION

PROGRAMMATION

Schéma de montage électronique des capteurs



MONTAGE DU RADAR

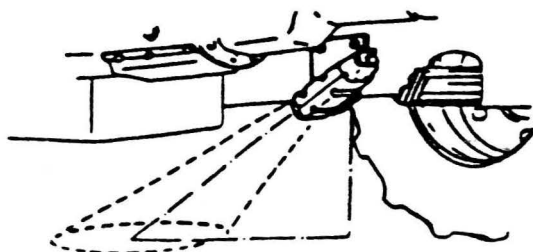
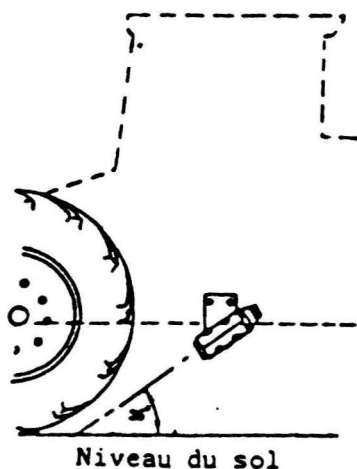


D3RVS II RADAR

PRECAUTIONS PRELIMINAIRES

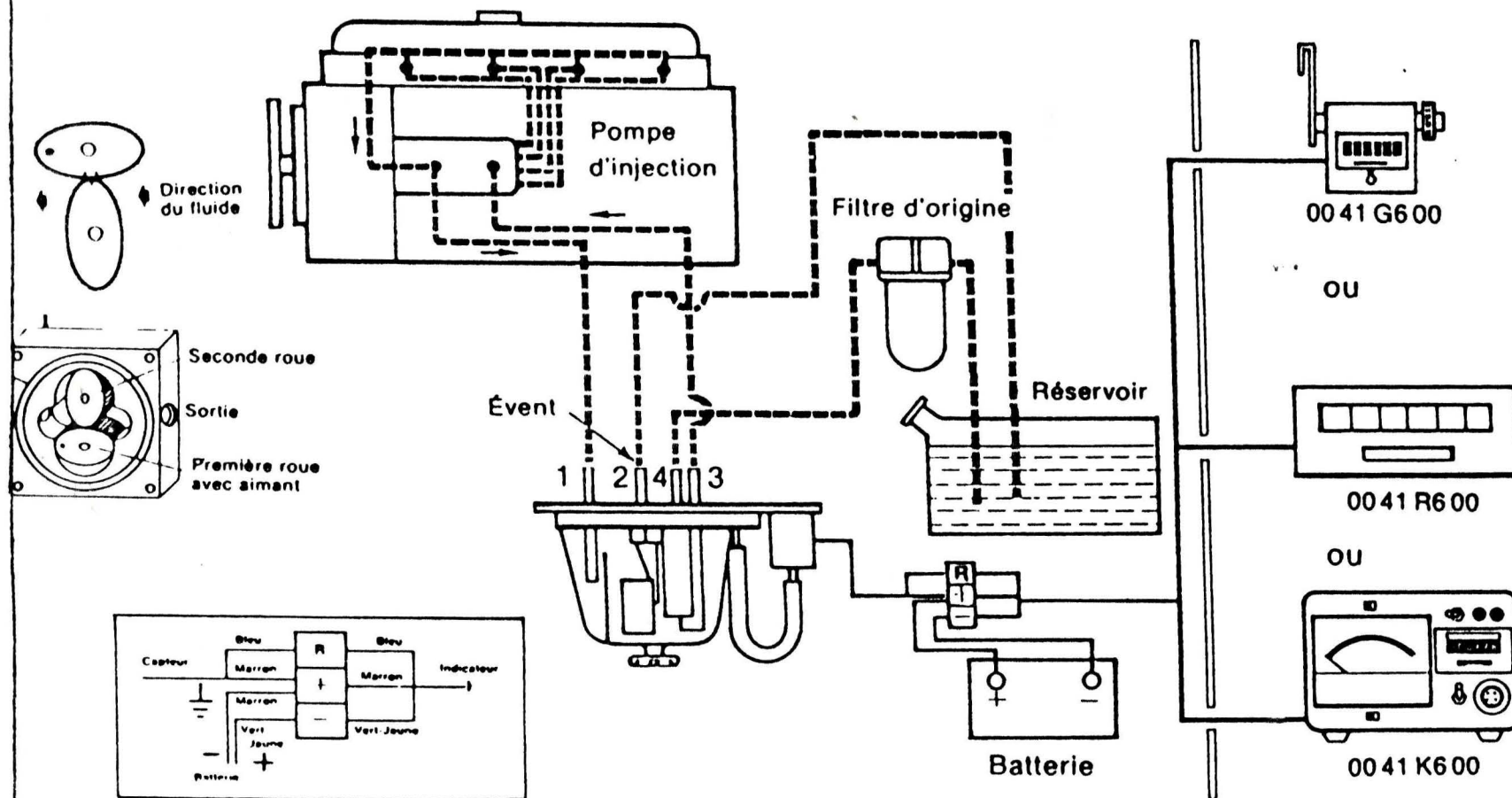
A lire attentivement avant montage :

- 1 - Le véhicule sur lequel est monté le radar doit être placé sur un sol horizontal.
- 2 - Le radar doit être installé à une hauteur comprise entre 0,40 m et 1,80 m par rapport au sol ou à la végétation.
- 3 - Son champ d'émission doit être dégagé de tout obstacle en mouvement ou non, et ne doit pas être perturbé par des projections (terre, boue, pulvérisation ...).
- 4 - La face avant et le capot arrière de radar ne doivent pas être en contact avec le véhicule. La végétation ou toute pièce en mouvement ne doit pas toucher la face avant du radar.
- 5 - L'emplacement du support du radar doit être déterminé afin d'avoir un minimum de vibrations. Des vibrations excessives peuvent entraîner une lecture erronée de la vitesse lorsque le véhicule est à l'arrêt.
- 6 - Le radar peut être dirigé indifféremment vers l'arrière ou vers l'avant du véhicule, l'axe du radar étant parallèle à l'axe d'avancement du véhicule.
- 7 - L'emplacement du radar dépend des conditions dans lesquelles on va l'utiliser. En effet, si l'on va travailler sur sol nu on pourra alors se contenter de l'installer entre les roues avant et arrière du véhicule, sous le marche-pied par exemple, orienté vers l'arrière de préférence pour des raisons de protection.



COMPARTIMENT MOTEUR

HABITACLE



WYLER

LEVELMATIC 34

Serie - Nr.: 105261/2

Datum: 27.8.90

Modell: ☐ A 34 (X-Achse, X-axis)
☒ B 34 (X/Y-Achse, X/Y-axis)
☐ C 34 (Raumwinkel.)

Messbereich :

Measuring range : 0.....+/- 30 ° F.S.

Plage de mesure :

Ausgang :

Output signal : +/- 2,00 V F.S.

Sortie analog :

Anschluss - Spannung :

Excitation : : 12-15 V DC

Tension d'alimentation:

Temperatur - Bereich :

Temperature - range : -10.....+50 °C

Temperature de travail:

Schaltpunkt Oberhalb/over : +20 °

Innerhalb/in : +20°...-20 °

Unterhalb/under: -20 °

Program:
 Flag Usage:
 Input Channel Usage:
 Excitation Channel Usage:
 Continuous Analog Output Usage:
 Control Port Usage:
 Pulse Input Channel Usage:
 Output Array Definitions:

<p>* 1</p> <p>01: 3</p> <p>01: P91</p> <p>01: 11</p> <p>02: 30</p> <p>02: P1</p> <p>01: 2</p> <p>02: 15</p> <p>03: 1</p> <p>04: 1</p> <p>05: 0.0158</p> <p>06: 0</p> <p>03: P3</p> <p>01: 1</p> <p>02: 1</p> <p>03: 10</p> <p>04: 3</p> <p>05: 20</p> <p>06: 0</p> <p>04: P3</p> <p>01: 1</p> <p>02: 2</p> <p>03: 10</p> <p>04: 4</p> <p>05: 1</p> <p>06: 0</p> <p>05: P86</p> <p>01: 10</p> <p>06: P77</p> <p>01: 11</p> <p>07: P70</p> <p>01: 4</p> <p>02: 1</p> <p>08: P95</p> <p>09: P</p>	<p>Table 1 Programs</p> <p>Sec. Execution Interval</p> <p>If Flag</p> <p>1 is set</p> <p>Then Do</p> <p>Volt (SE)</p> <p>Reps</p> <p>5000 mV fast Range</p> <p>IN Chan</p> <p>Loc :</p> <p>Mult</p> <p>Offset</p> <p>Pulse</p> <p>Rep</p> <p>Pulse Input Chan</p> <p>High frequency</p> <p>Loc :</p> <p>Mult</p> <p>Offset</p> <p>Pulse</p> <p>Rep</p> <p>Pulse Input Chan</p> <p>High frequency</p> <p>Loc :</p> <p>Mult</p> <p>Offset</p> <p>Do</p> <p>Set high Flag 0 (output)</p> <p>Real Time</p> <p>Hour-Minute,Seconds</p> <p>Sample</p> <p>Reps</p> <p>Loc</p> <p>End</p> <p>End Table 1</p>
<p>* 2</p> <p>01: 0.0000</p>	<p>Table 2 Programs</p> <p>Sec. Execution Interval</p>

ANNEXE 5

**REPRESENTATIONS GRAPHIQUES
DES MODELES DE BASE
POUR DIFFERENTES CHARGES
ET GLISSEMENTS TOTAUX**

21X PROMPT SHEET

MODES

- 0 - Complete log data
- 1 - 2 - 3 - User program
- 4 - Output options
- 5 - Display set time
- 6 - Display printer input Storage
- 7 - Display Final Storage
- 8 - Dump to tape
- 9 - Dump to printer
- A - Memory allocation
- B - Signature
- 4 - Mode Output options
- 01 10 - Printer disabled
- 11 - Printer enabled
- 02 - Tape disabled
- 12 - Tape enabled
- 03 00 - 300 baud to printer
- 01 - 1200 baud
- 02 - 9600 baud
- 03 - 76,800 baud

ERROR CODES

- 3 - Program Table full
- 4 - Intermediate Storage full
- 5 - 21X was reset by watch dog timer
- 11 - Attempt to allocate unavailable storage
- 20 - Subroutine encountered before necessary END
- 21 - END without IF, LOOP, or SUBROUTINE
- 22 - Missing END, Nonexistent SUBROUTINE
- 24 - ELSE in SUBROUTINE without IF
- 25 - ELSE without IF
- 26 - EXIT LOOP without LOOP
- 30 - IF's and/or LOOPS nested too deep
- 31 - SUBROUTINES nested too deep
- 40 - Table 2 Execution Interval too short

21X PROGRAM AND PARAMETER SUMMARY

INPUT/OUTPUT INSTRUCTIONS

PROCESSING INSTRUCTIONS

INST. NO. AND DESCRIPTION	01:	02:	03:	04:	05:	06:	07:	08:	09:	DESC.	01:	02:	03:	DESC.	01:	02:	03:
1 VOLT RMS	REPS	RANGE1	IN CHAN	LOC	MULT.	OFFSET				30 Z=F	F Z	36 Z=X-Y	X Y Z	42 Z=VX	X Z		
2 VOLT (DIFF)	REPS	RANGE1	IN CHAN	LOC	MULT.	OFFSET				31 Z=X	X Z	37 Z=X-F	X F Z	43 Z=ABS(X)	X Z		
3 PULSE	REPS	IN CHAN	CONFL1	LOC	MULT.	OFFSET				32 Z=Z+1	Z	38 Z=X-Y	X Y Z	44 Z=FRAC(X)	X Z		
4 EX-DEL-SE	REPS	RANGE1	IN CHAN	EX CHAN1	DEL B18	EXCIT MV	LOC	MULT.	OFFSET	33 Z=X+Y	X Y Z	39 Z=SQRT(X)	X Z	45 Z=INT(X)	X Z		
5 AC HALF BR	REPS	RANGE1	IN CHAN	EX CHAN1	EXCIT MV	LOC	MULT.	OFFSET		34 Z=X-F	X F Z	40 Z=LN(X)	X Z	46 Z=X MOD F	X F Z		
6 FULL BR	REPS	RANGE1	IN CHAN	EX CHAN1	EXCIT MV	LOC	MULT.	OFFSET		35 Z=X-Y	X Y Z	41 Z=EXP(X)	X Z	47 Z=X I Y	X Y Z		
7 3N HALF BR	REPS	RANGE1	IN CHAN	EX CHAN1	EXCIT MV	LOC	MULT.	OFFSET						48 Z=SIN(X)	X Z		
8 EX-DEL-OFF	REPS	RANGE1	IN CHAN	EX CHAN1	DEL B18	EXCIT MV	LOC	MULT.	OFFSET								
9 FULL BR-MEX	REPS	EX RANGE1	B RANGE1	IN CHAN	EX CHAN1	EXCIT MV	LOC	MULT.	OFFSET								
10 BATT. VOLT	LOC																
11 TEMP (100)	REPS	IN CHAN	EX CHAN1	LOC	MULT.	OFFSET											
12 RH (200)	REPS	RH CHAN	EX CHAN1	T LOC	RH LOC	MULT.	OFFSET										
13 TEMP-TC SE	REPS	RANGE1	IN CHAN	TC TYPE1	REF LOC	LOC	MULT.	OFFSET									
14 TEMP-TC DIF	REPS	RANGE1	IN CHAN	TC TYPE1	REF LOC	LOC	MULT.	OFFSET									
15 TEMP-RTD	REPS	RTD LOC	LOC		MULT.	OFFSET											
16 TEMP-PANEL	LOC																
17 TIME	OPTION 1	MOOBY	LOC														
18 SIGNATURE	LOC																
20 PORT SET	OPTION1	PORT NO.															
21 ANALOG OUT	CAO CHAN	MV LOC															
22 EXCIT-DEL	EX CHAN	DEL WREX	DEL AFTER EXCIT MV	MMB UNITS - 0.01N													
25 TIMER	LOC	(No reset and run timer, use this inst. with LOC = 0)															

OUTPUT PROCESSING INSTRUCTIONS

PROGRAM CONTROL INSTRUCTIONS

DESCRIPTION	01:	02:	03:	04:	05:	06:	07:	DESCRIPTION	01:	02:	03:	04:
70 SAMPLE	REPS	LOC						85 LABEL SUBR	SUBR # (1-4)			
71 AVERAGE	REPS	LOC						86 DO	COMMAND1			
72 TOTAL SIZE	REPS	LOC						87 LOOP	DELAY	COUNT		
73 MAXIMIZE	REPS	TIME1	LOC					88 IF X <=> Y	X	COMP.1	Y	COMMAND1
74 MINIMIZE	REPS	TIME1	LOC					89 IF X <=> F	X	COMP.1	F	COMMAND1
75 HISTOGRAM	REPS	BINS	FORM1	BSEL LOC	WY LOC1	LO LIM	HI LIM	91 IF FLAG	FLAG1	COMMAND1		
76 W-VECTOR	REPS	SENSOR1	WSE	WDRN				92 IF TIME	T into INT	INT (min)	COMMAND1	
77 REAL TIME	OPTION1							94 ELSE				
78 RESOLUTION	OPTION1							95 END				
79 SEMPL ON MM	REPS	LOC										
80 YEAR												

↑ INSTRUCTION OPTION CODES

INST. DESCRIPTION	INST. DESCRIPTION	INST. DESCRIPTION	INST. DESCRIPTION
1-14 RANGE codes: Range (Relative Integ. Time) Expt. (200us Integ. Time) Full scale range: 1 11 5 mV 2 12 15 mV 3 13 30 mV 4 14 500 mV 5 15 5000 mV	13, 14 TC TYPE-Thermocouple-Type Codes: 1 T (proper-constant) 2 E (chromel-constant) 3 K (chromel-alumel) 4 J (iron-constant)	73, 74 TIME of max or min options: 00: Max/min value only. 01: With Seconds. 10: With Hour-Minutes. 11: With Hour-Minutes, Seconds.	75: OPTION: 0: Low resolution 1: High resolution
3 CONFIRMATION codes: To record all counts: 0 High freq. 1 Low level AG 2 Switch Closure 3 High freq. 10 BR 4 Low level AG, 10 BR To discard counts from excessive intervals: 10	15 OPTION codes: 0 0.1 seconds into minutes 1 minutes into day 2 hours into year	76 FORM codes: 0 Open form (plate beyond limits is included) 1 Closed form (plate beyond limits is excluded)	85-89 COMMAND codes: 0 Gets end of Pgm. Table 1-6 Call Subroutines 10-15 Set Reg 0-6 20-25 Reset Reg 0-6 30: Then Do 31: Exit Loop if true 32: Exit Loop if false
4-12 EX CHAN codes: 00: Enable all reps within 2 10: Increment 1 each rep.	20 OPTION codes: 0 Set low 1 Set high 10: Set according to Reg 1 20: Set opposite of Reg 1	WY LOC codes: 0: Frequency distribution	85, 86: COMPARE codes: 1 X < Y 2 X < Y 3 X < Y 4 X < Y
	45, 50 MAXIMUM: 000: Store rep. max or min at loc. 000 100: Max or min at loc. 000 and loc of max or min at loc 0-1	77 OPTION: 1: Store Seconds 10: Store Hour-Minutes 100: Store Julian Day 11: Store Hour-Minutes, Sec. 110: Store Day, Hour-Minutes 111: Store Day, Hour-Minutes, Sec.	81 FLAG parameters: 10: Do if Reg 1 is set 20: Do if Reg 2 is set FLAG DESCRIPTION: 0 Output Reg. 1-6 User Regs 9 Internal, prec. disable Reg



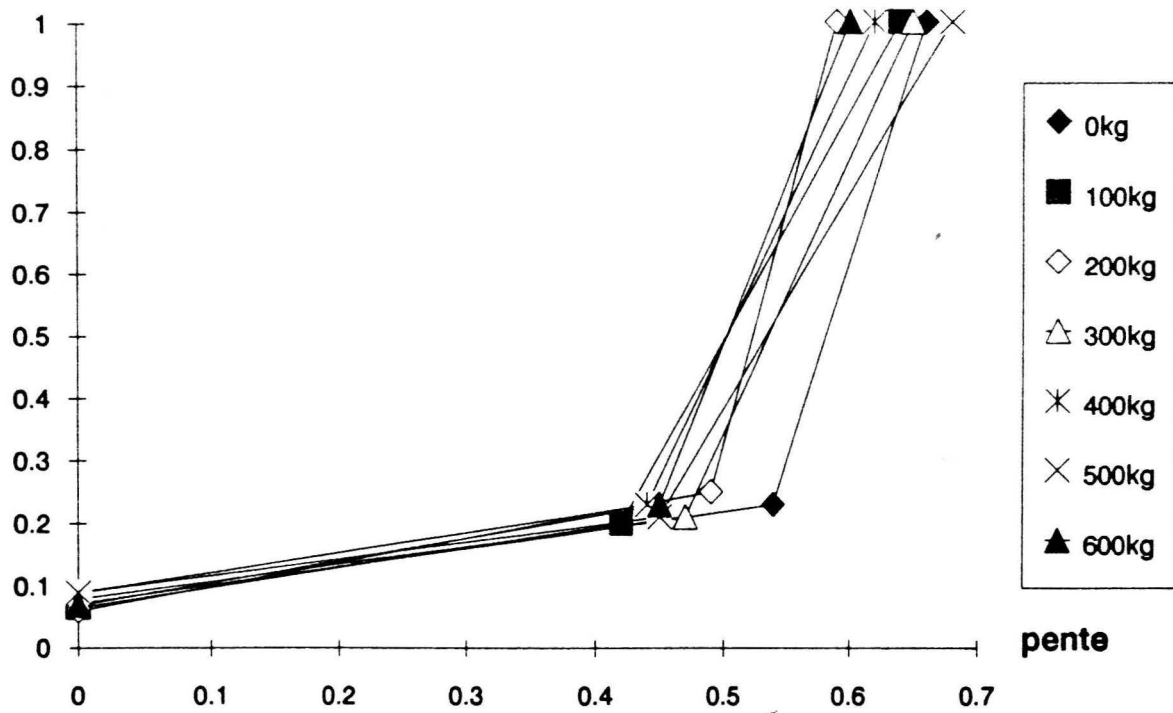
CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.
P.O. Box 399 • Logan, Utah 84301 • (801) 753-6348 • TUX 453028

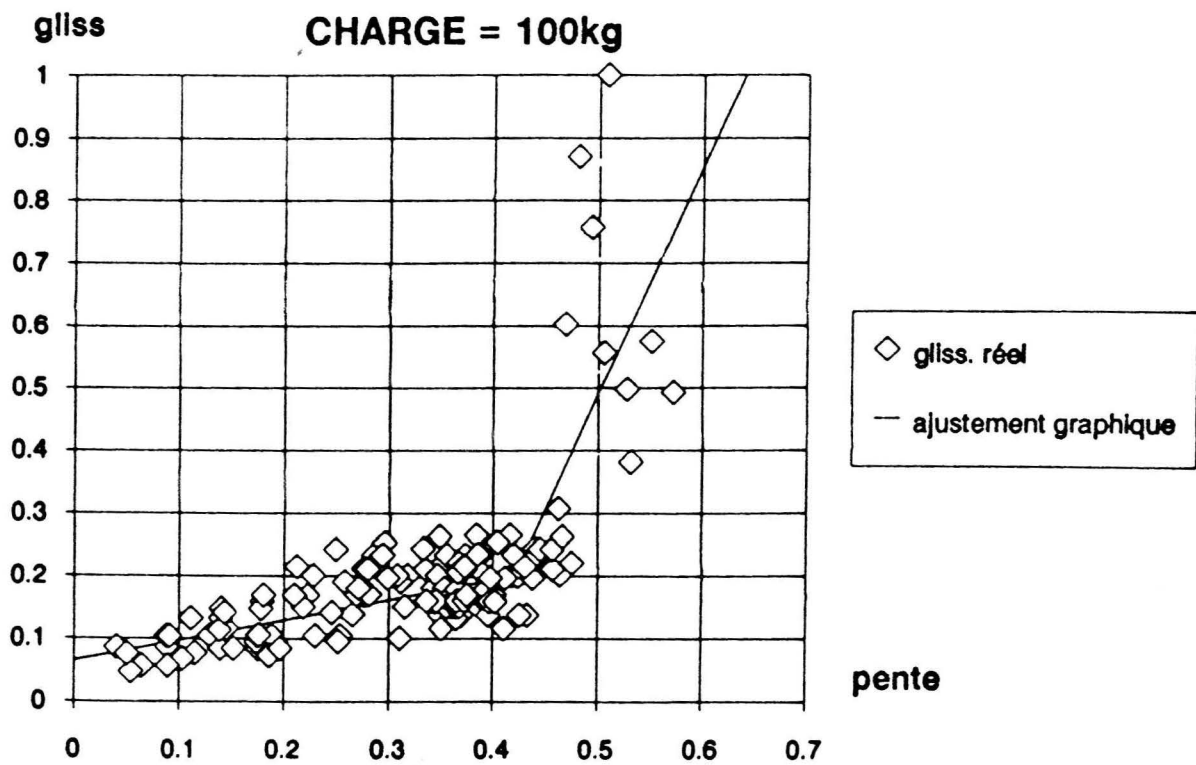
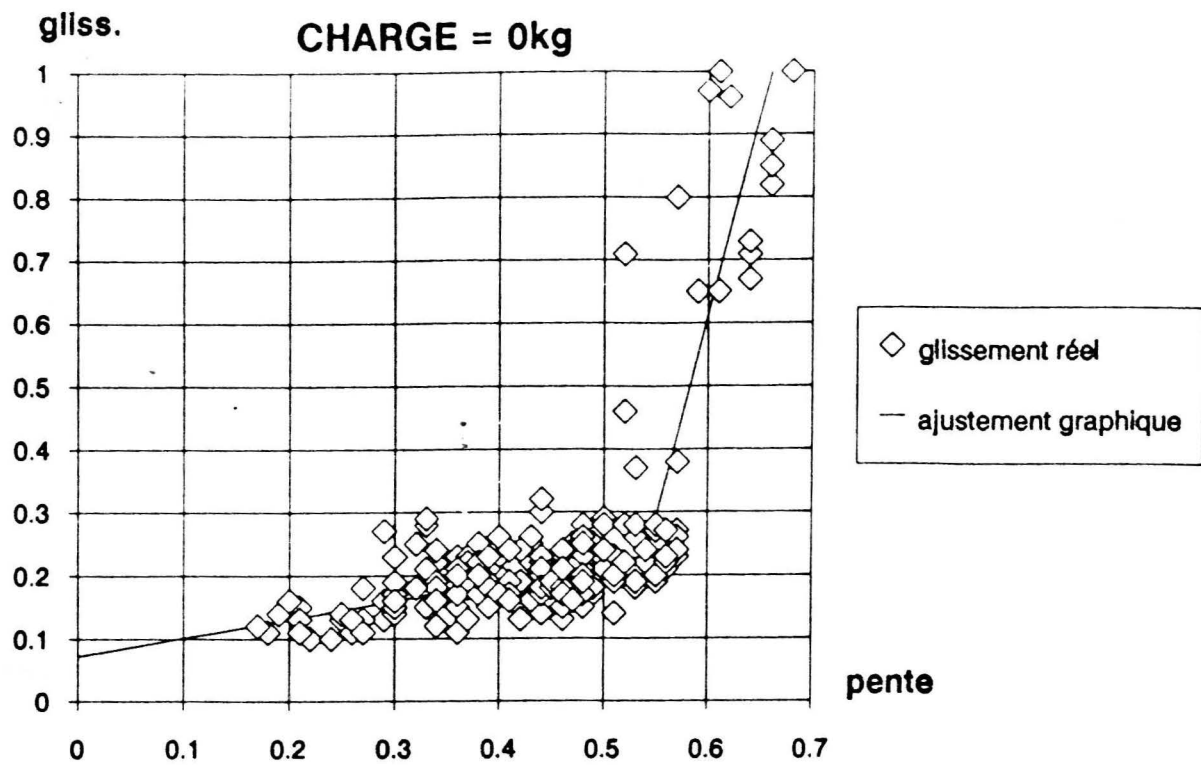
December, 1984

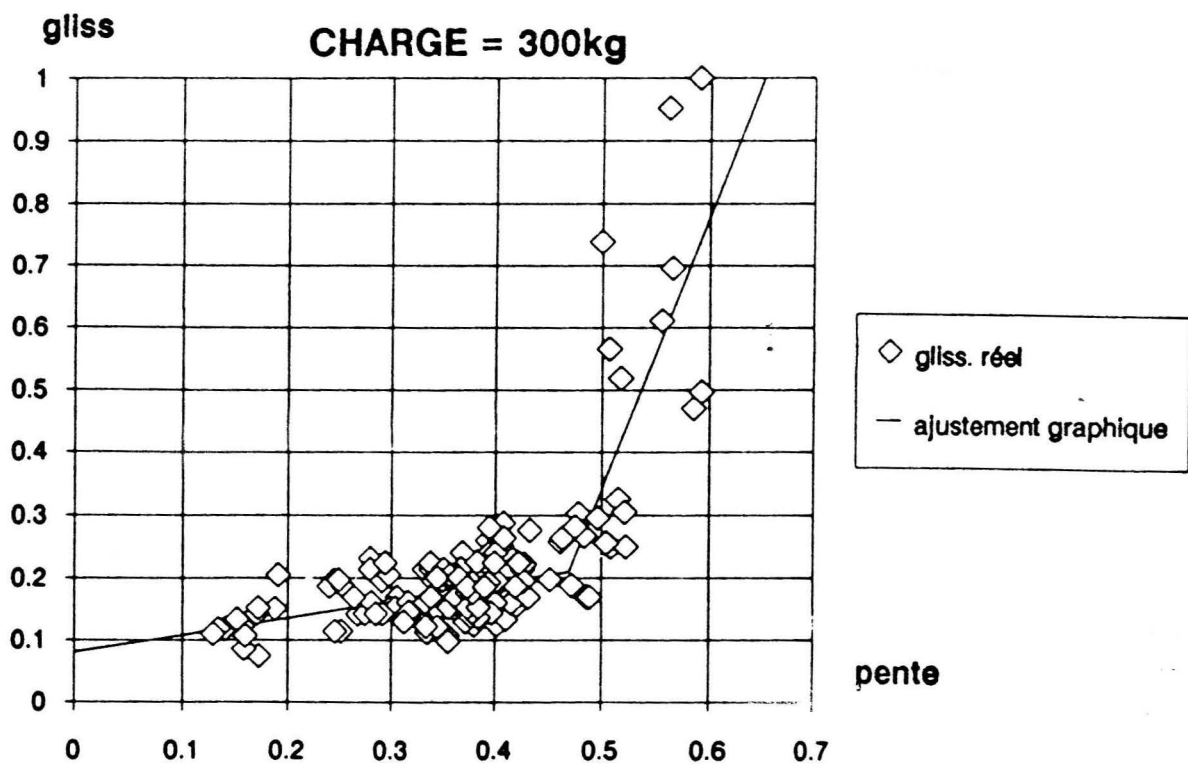
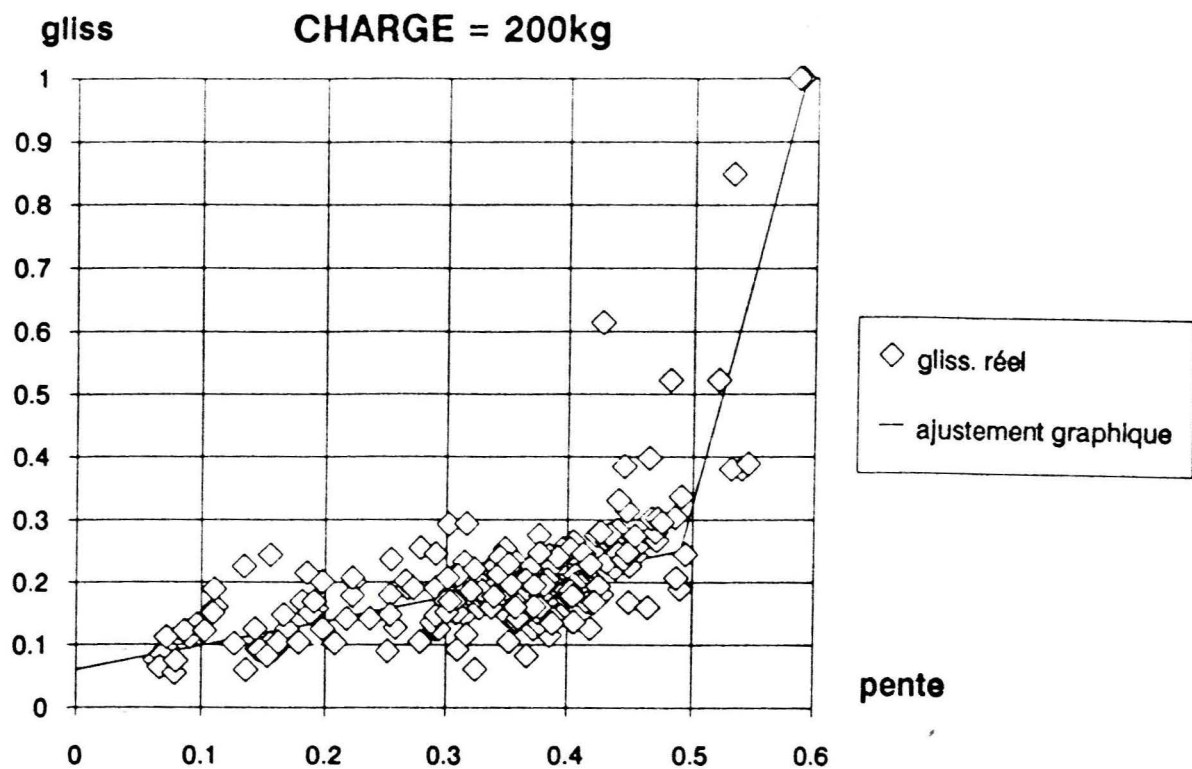
5.1.

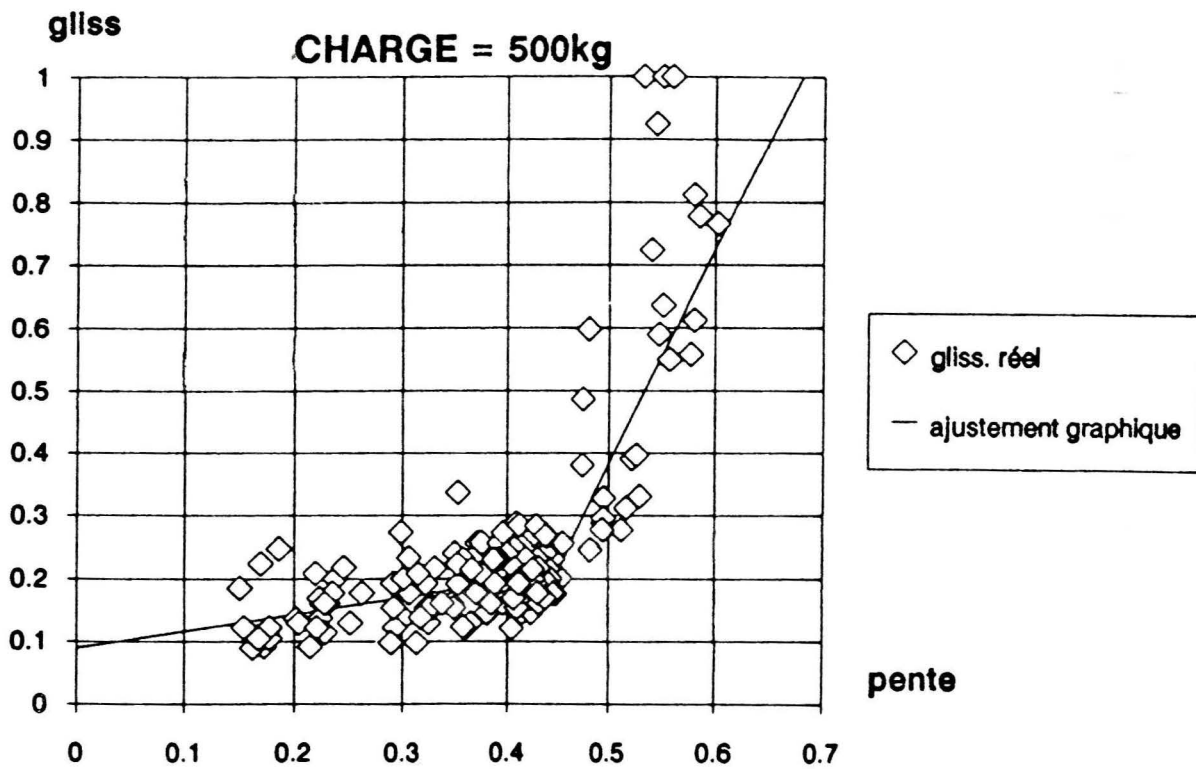
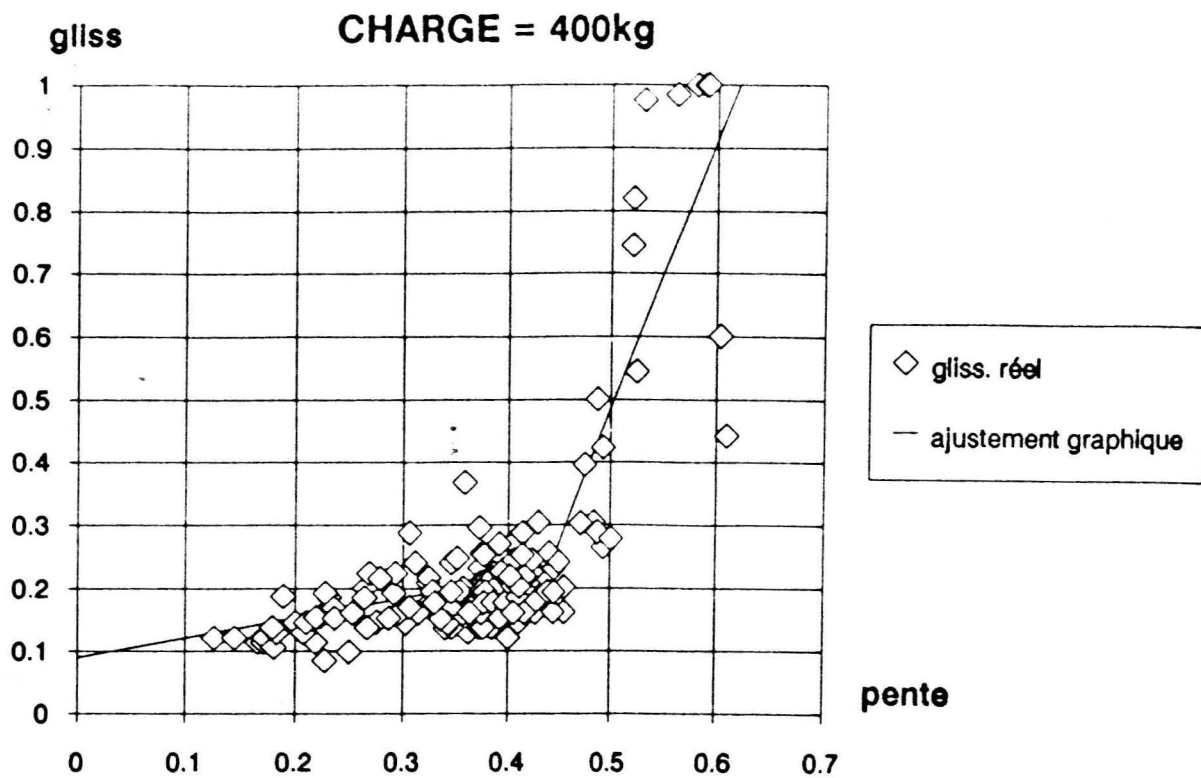
Le BUCHER TM 850

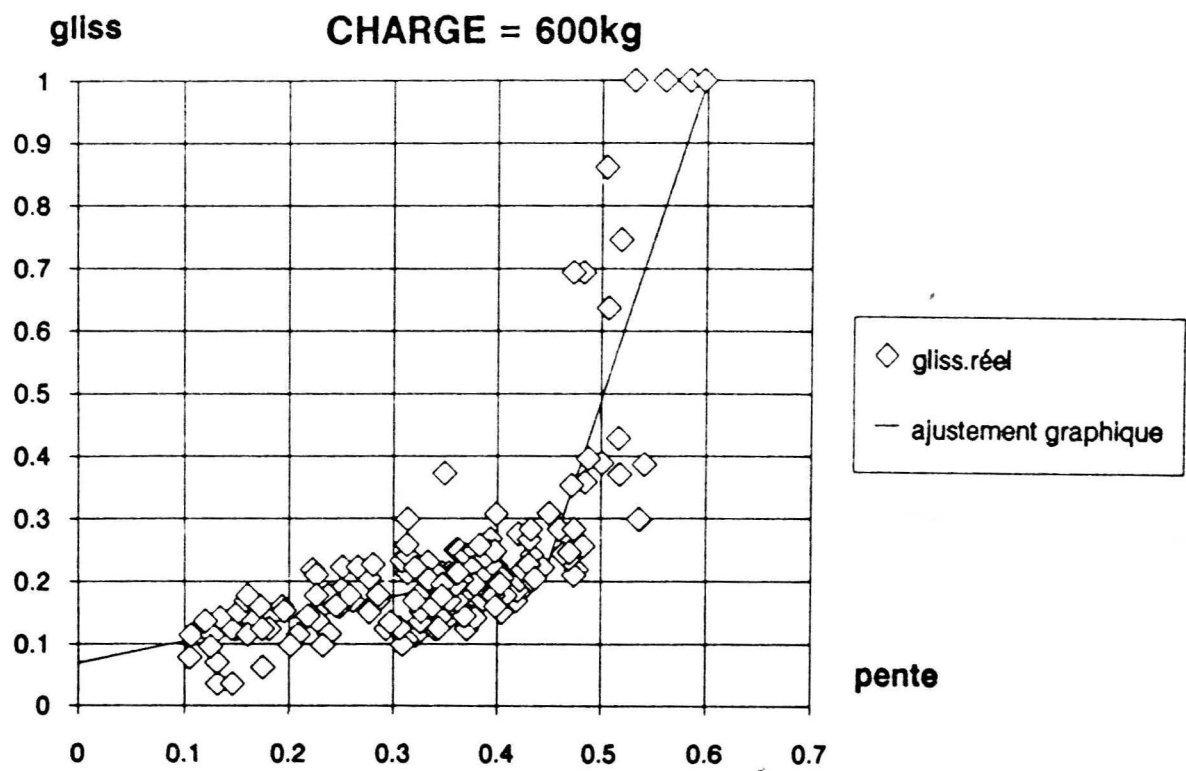
gliss





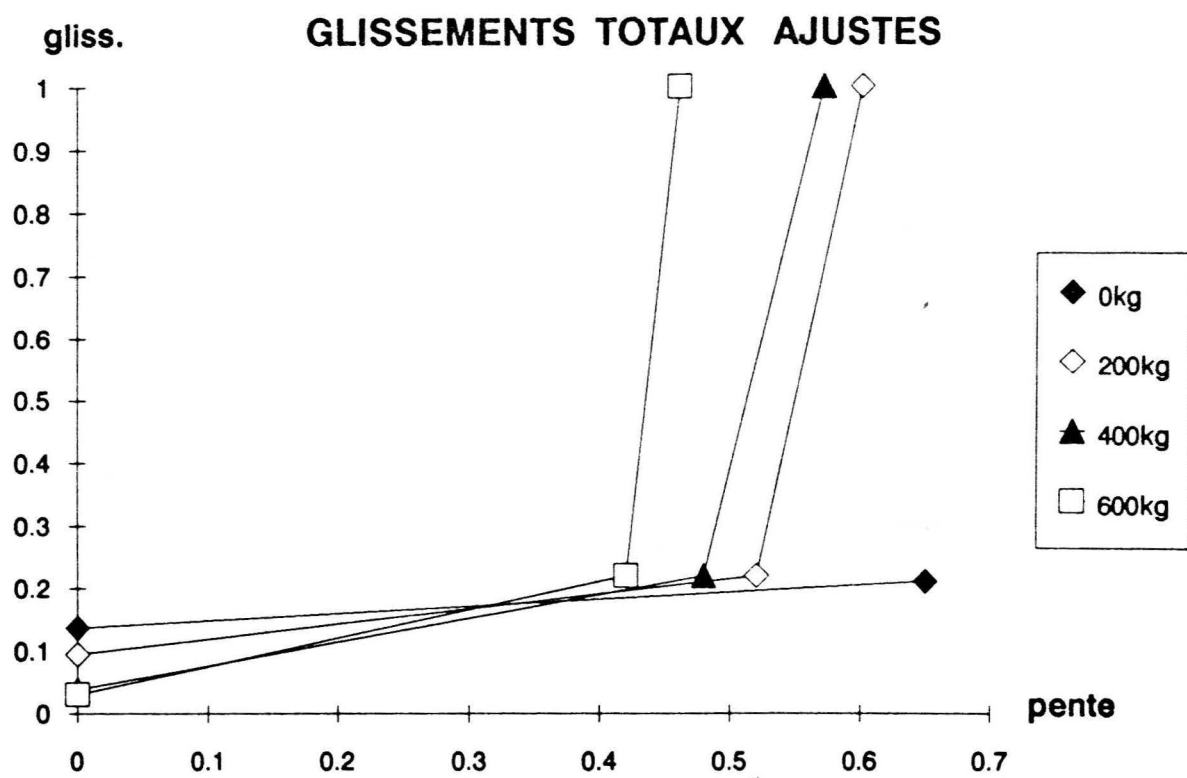


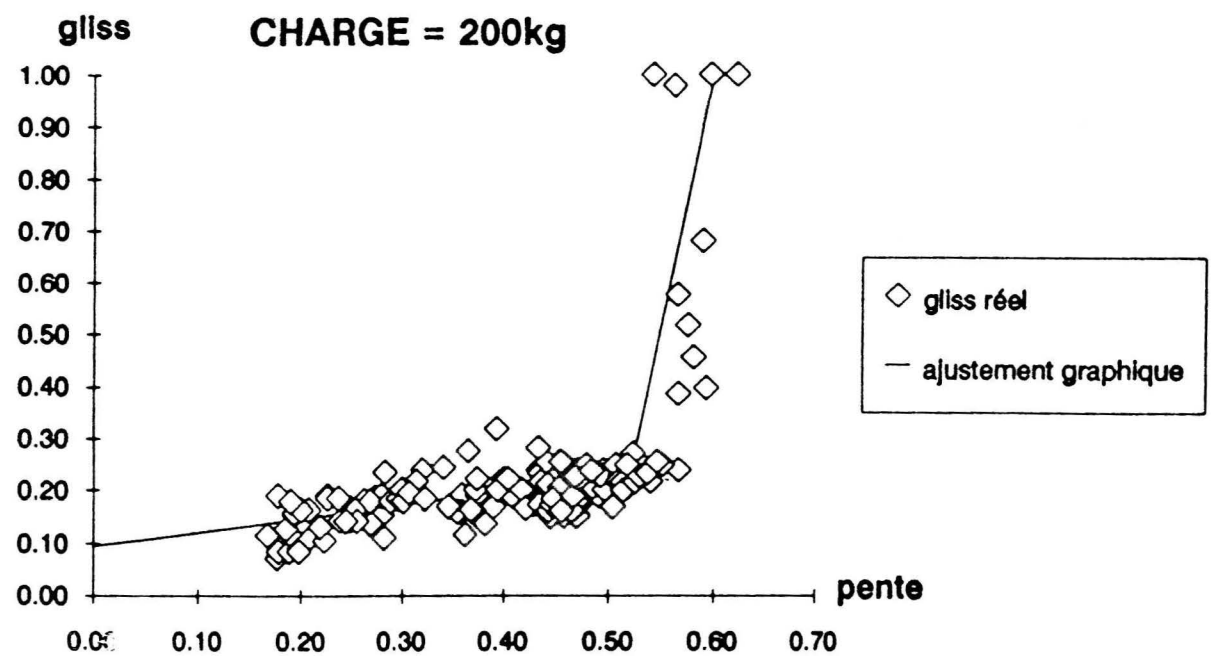
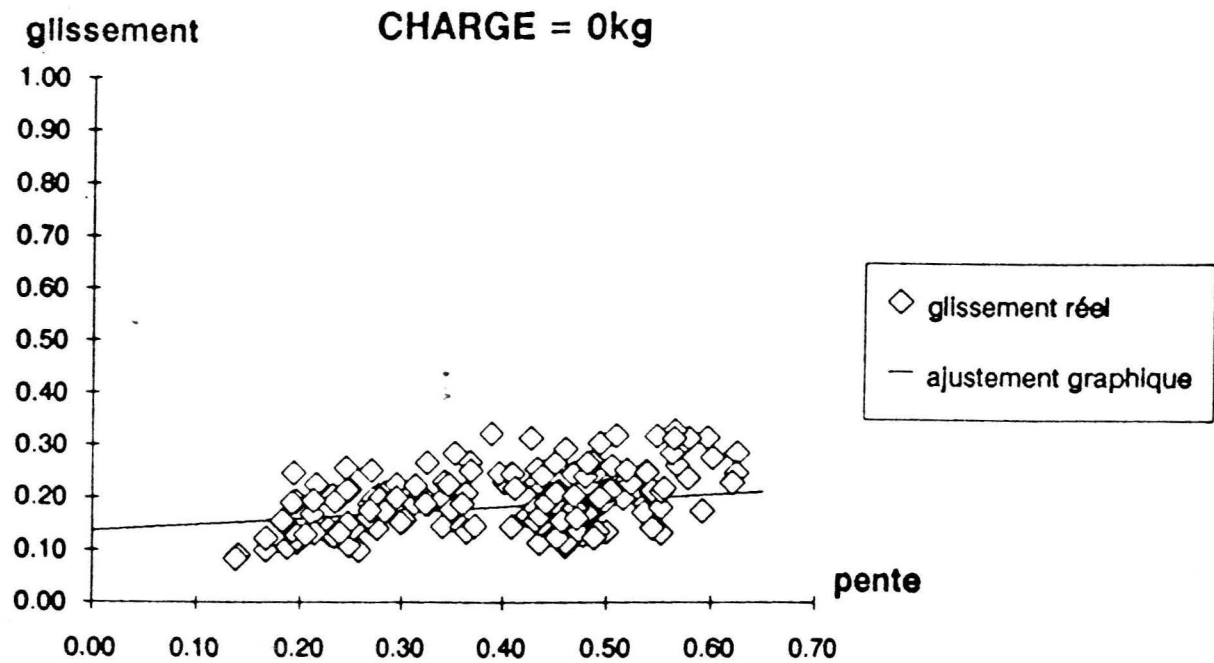


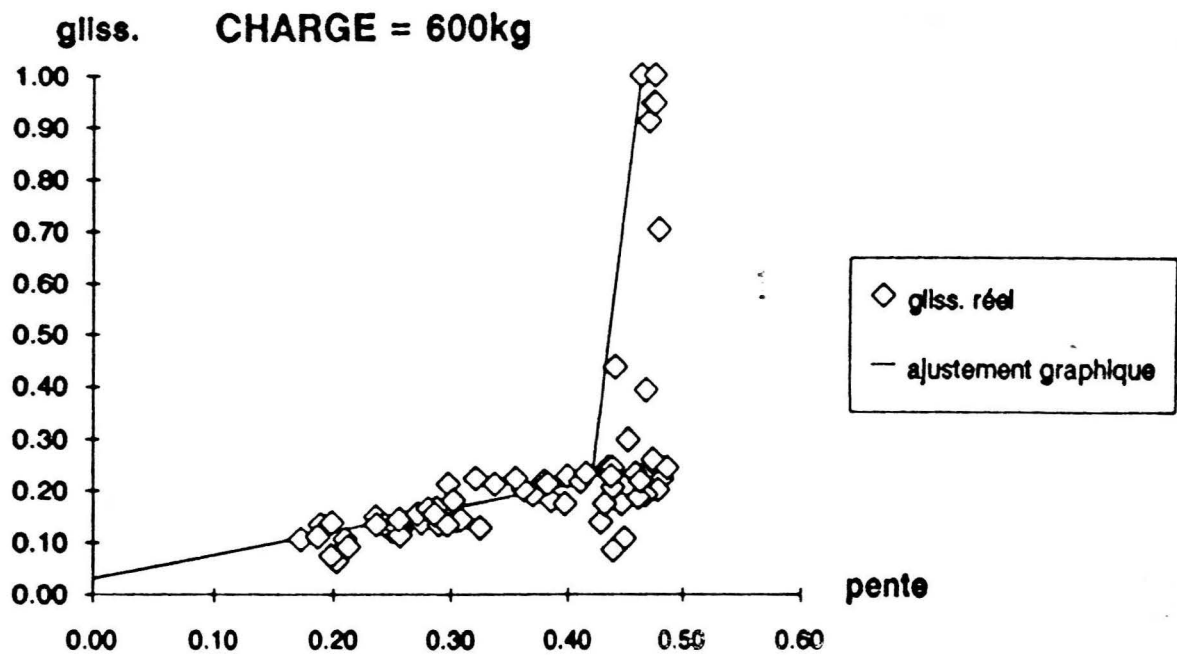
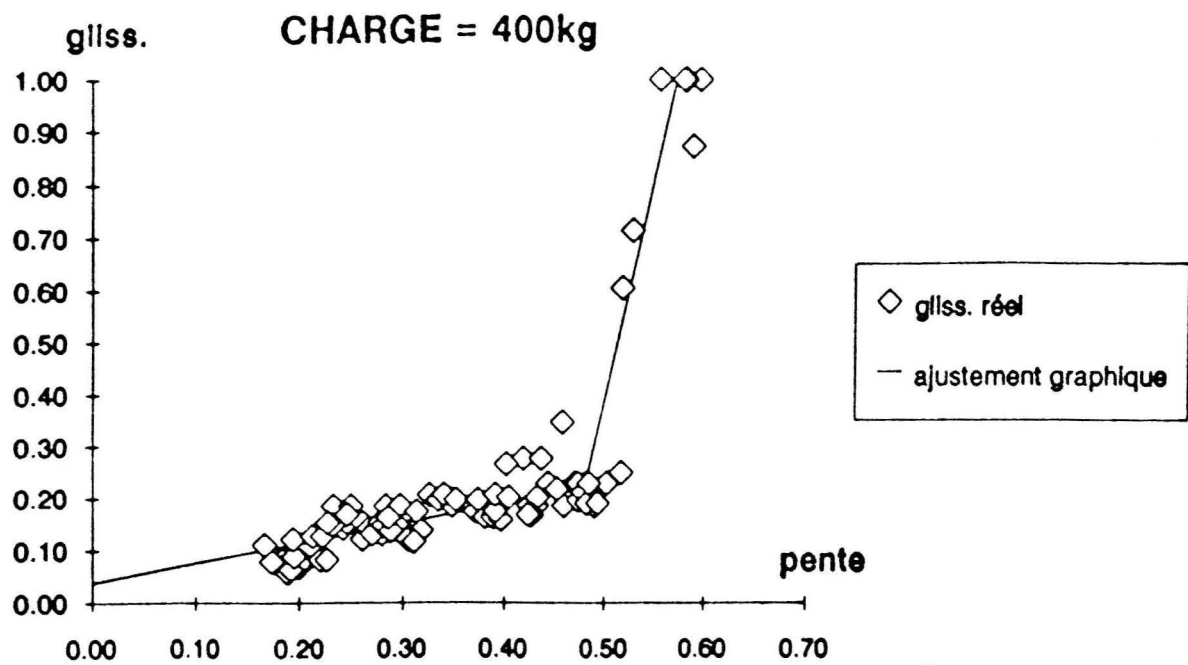


5.2.

LE MOTOCULTEUR AVEC LES CHENILLES

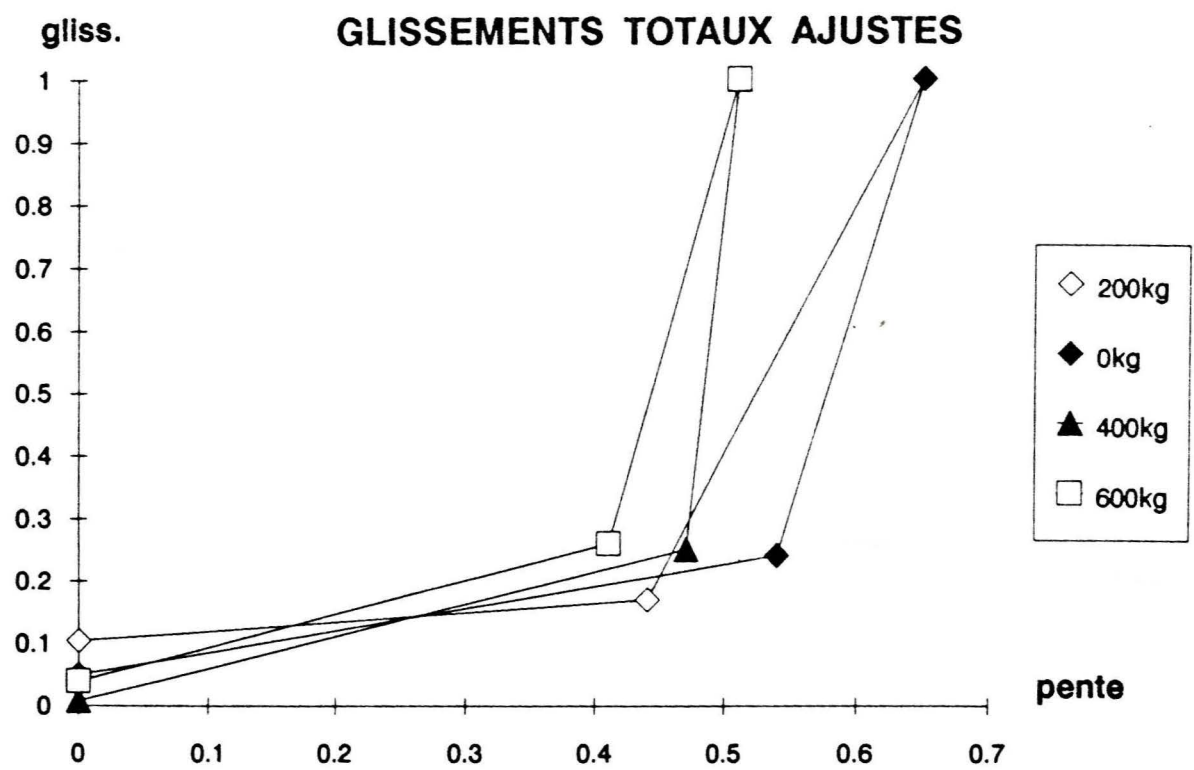


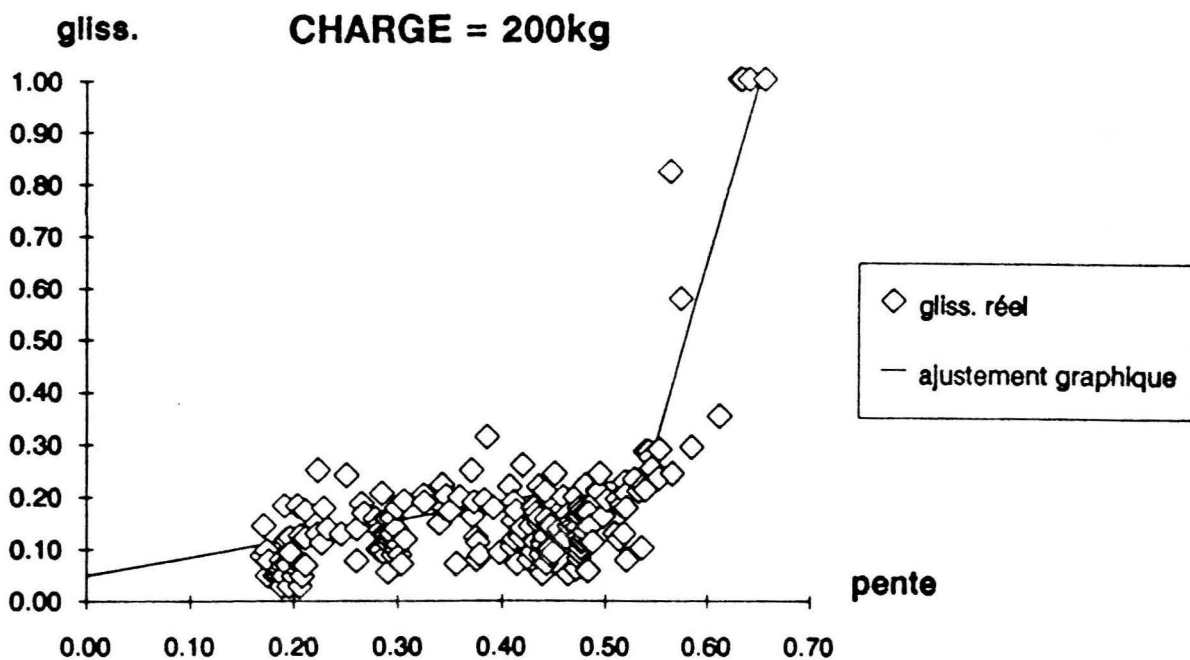
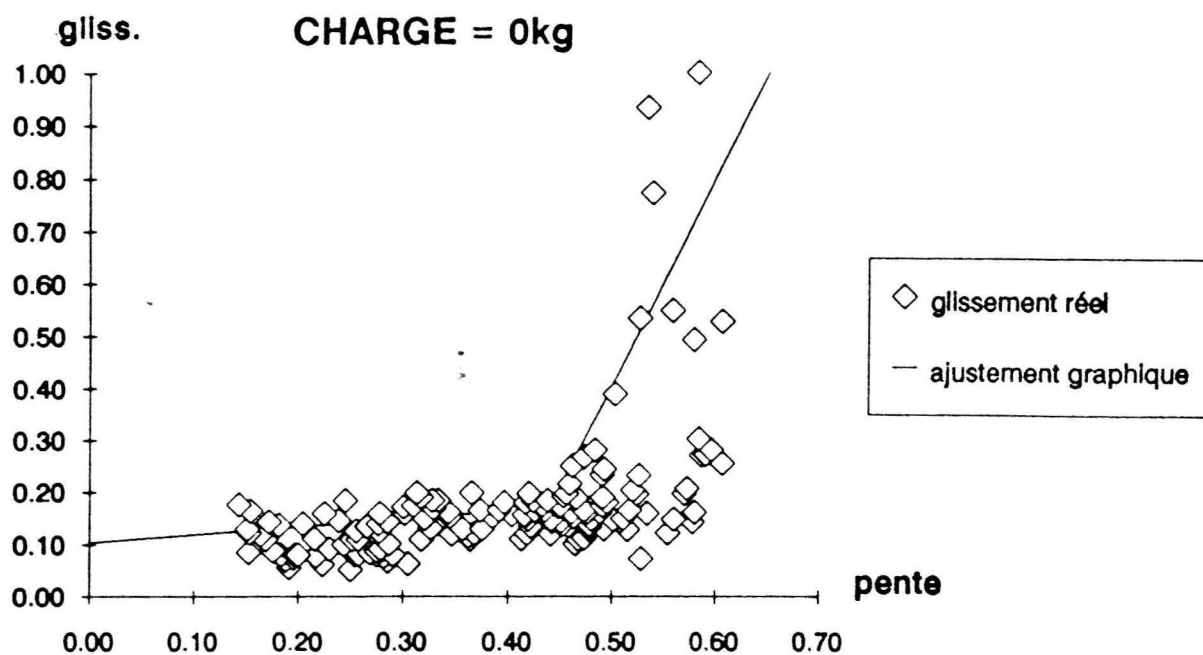


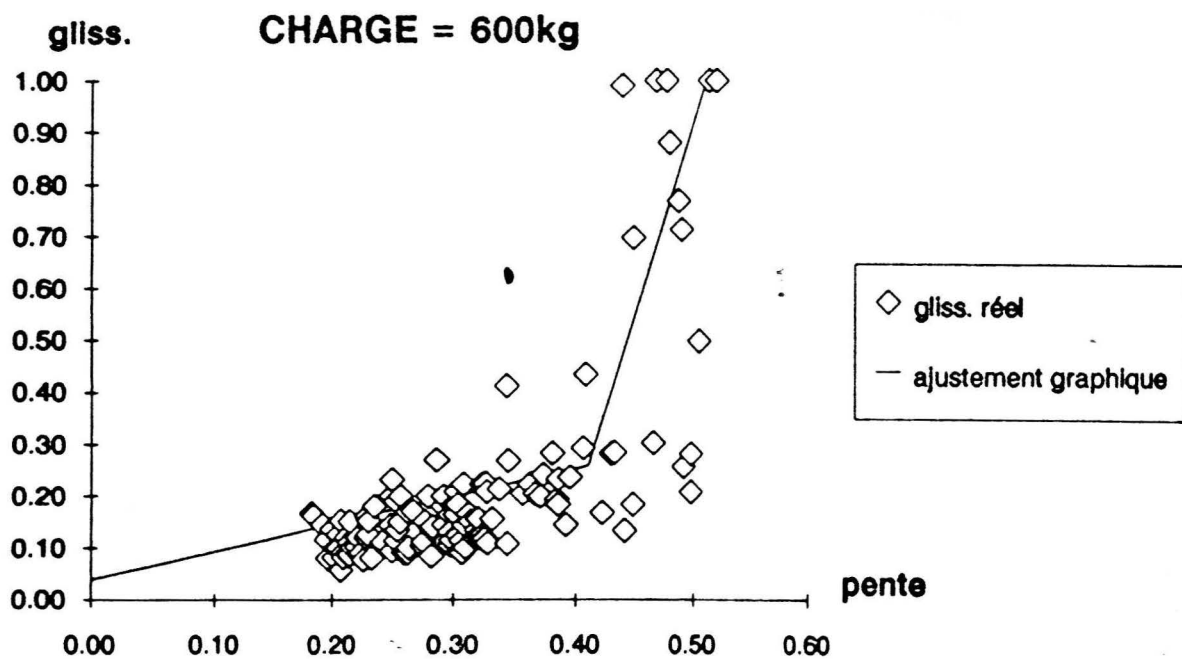
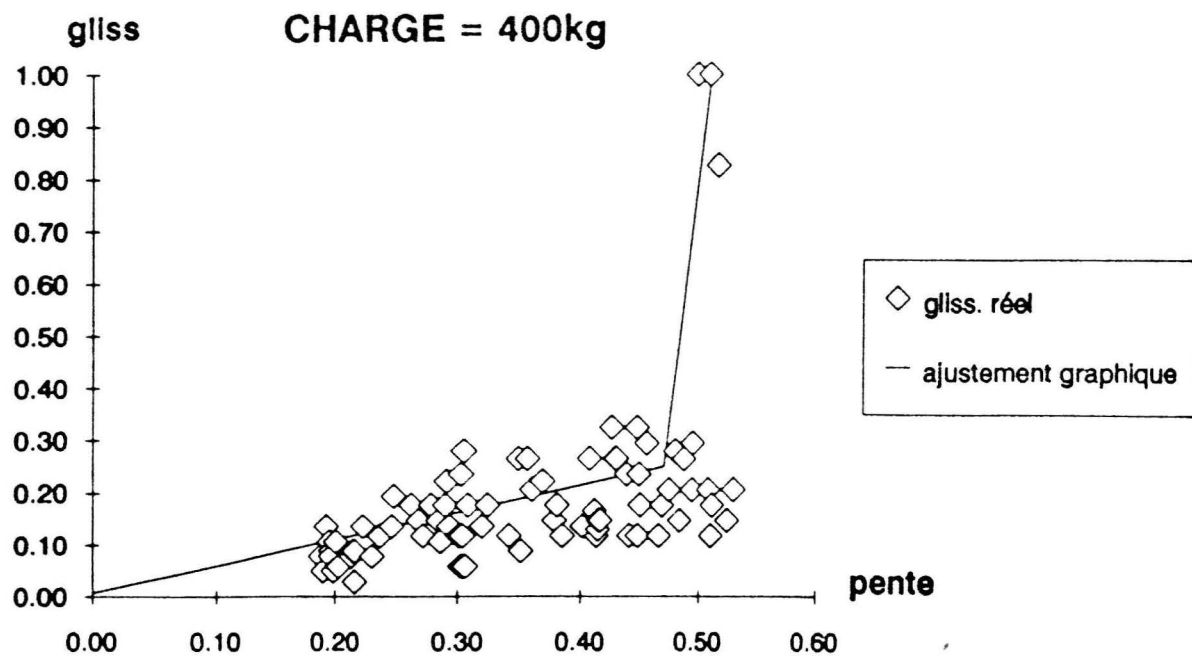


5.3.

LE MOTOCULTEUR AVEC LES ROUES



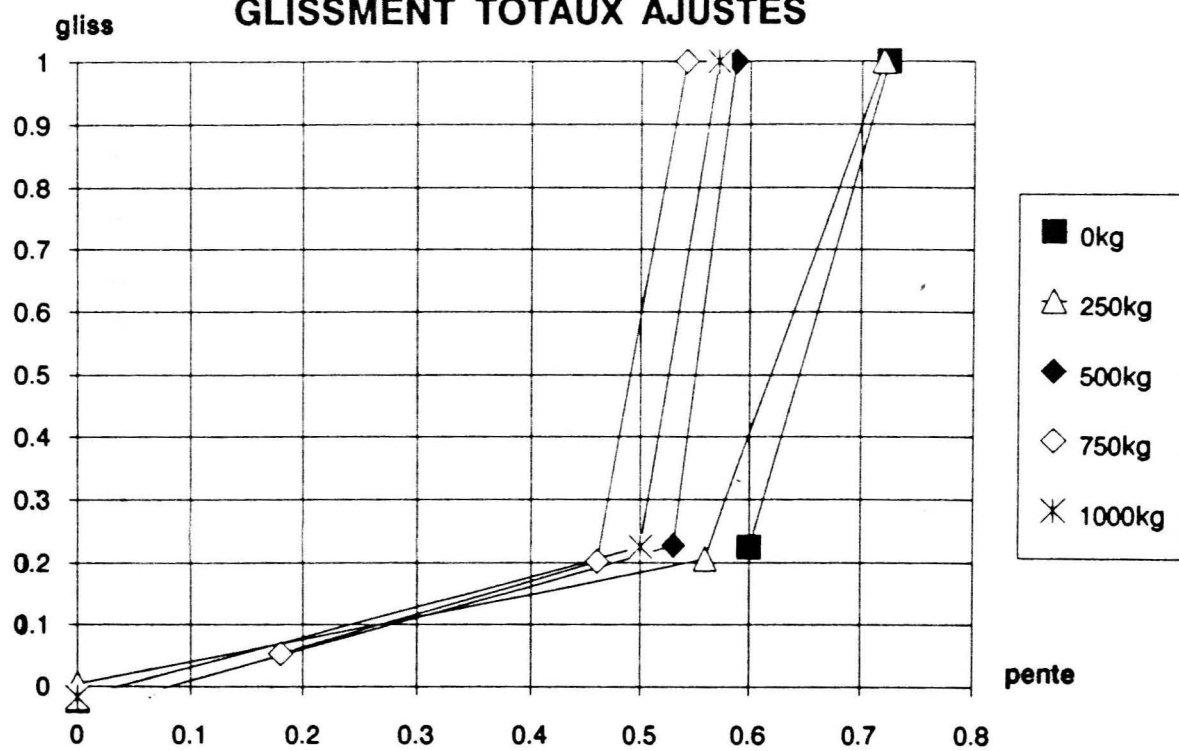


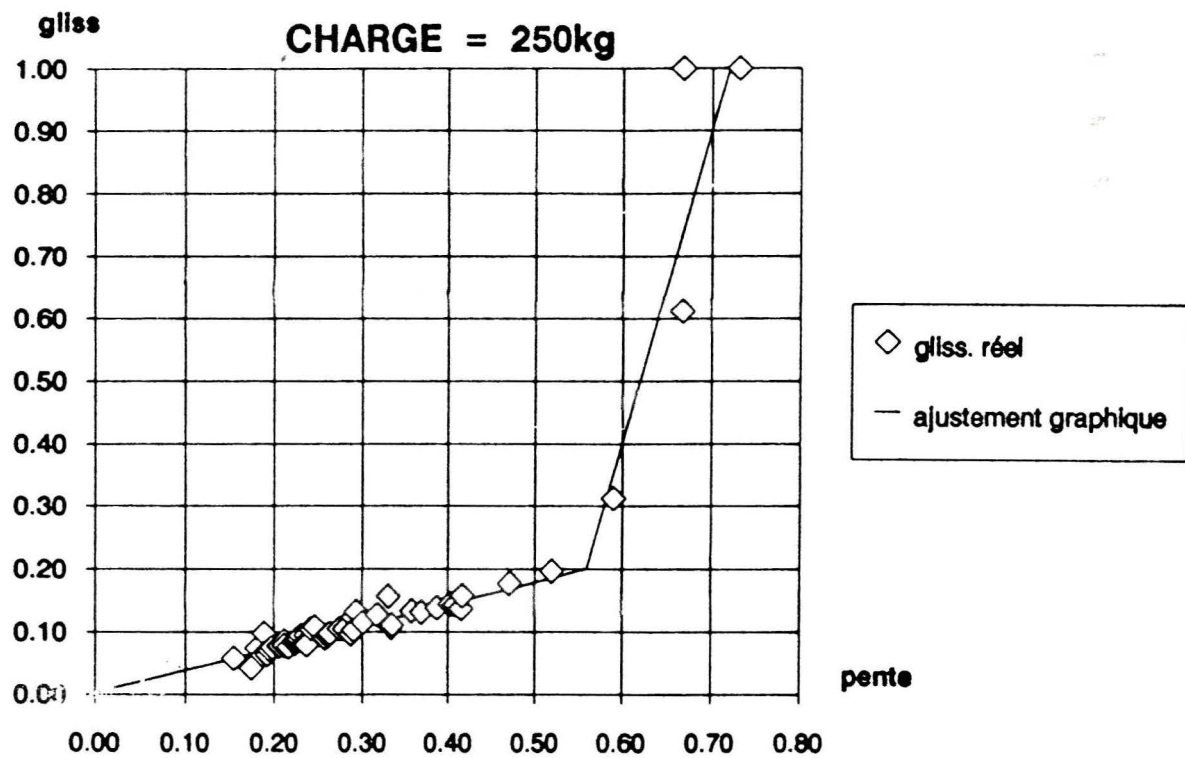
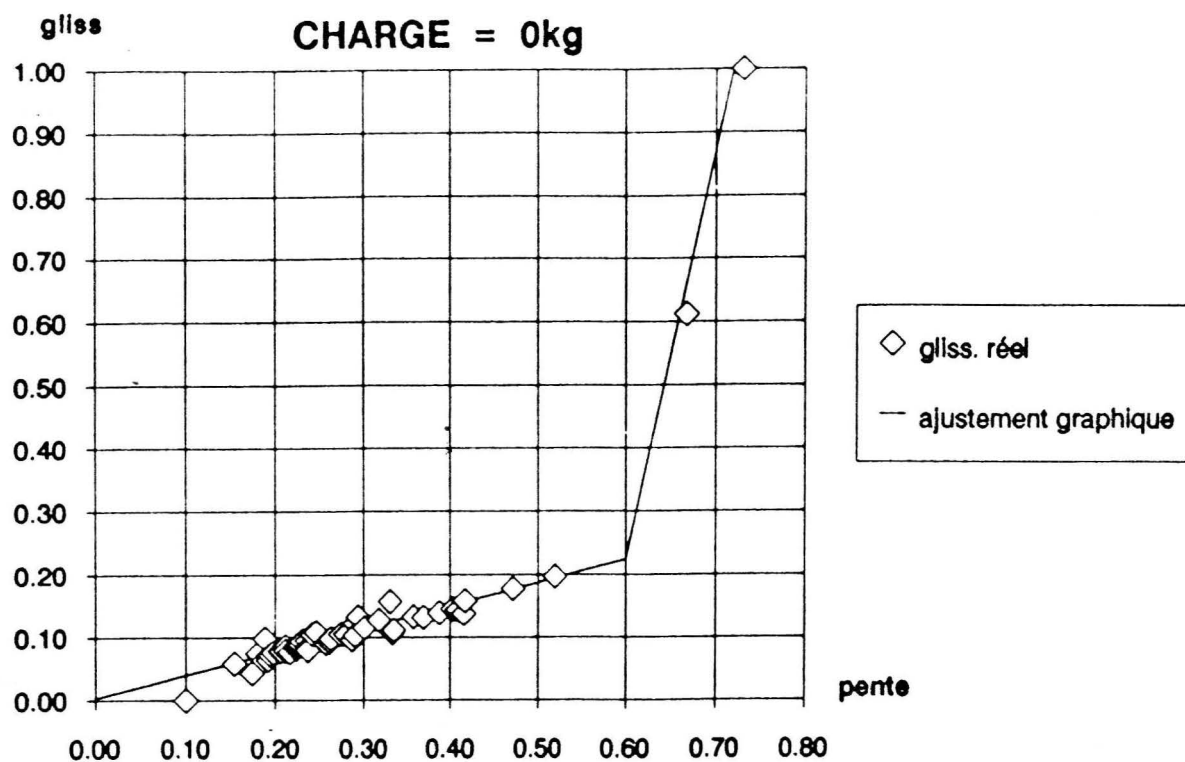


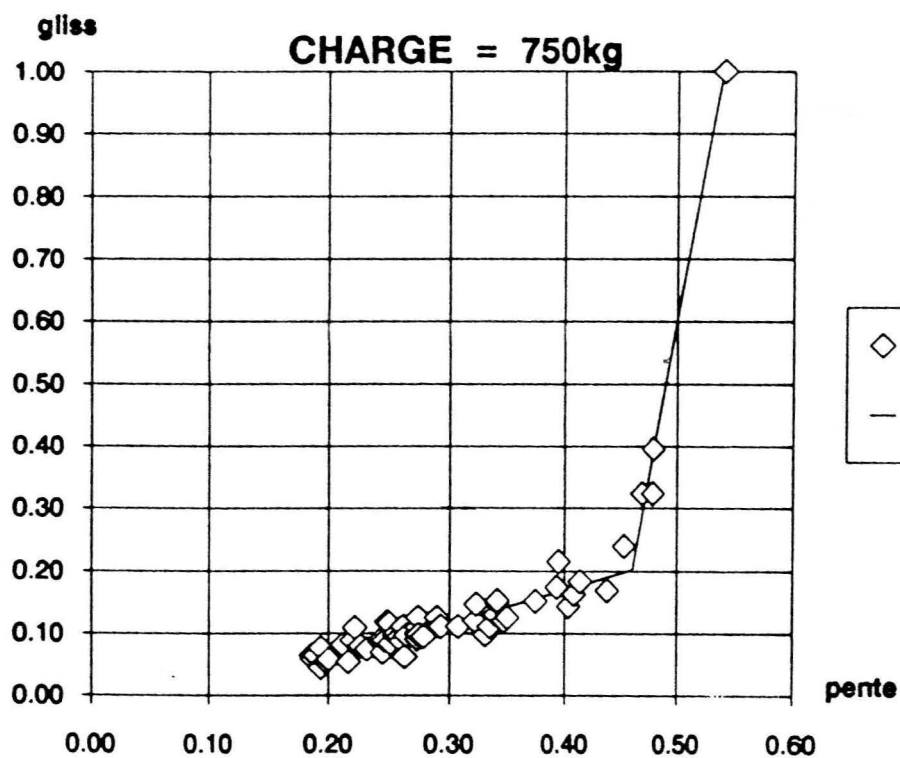
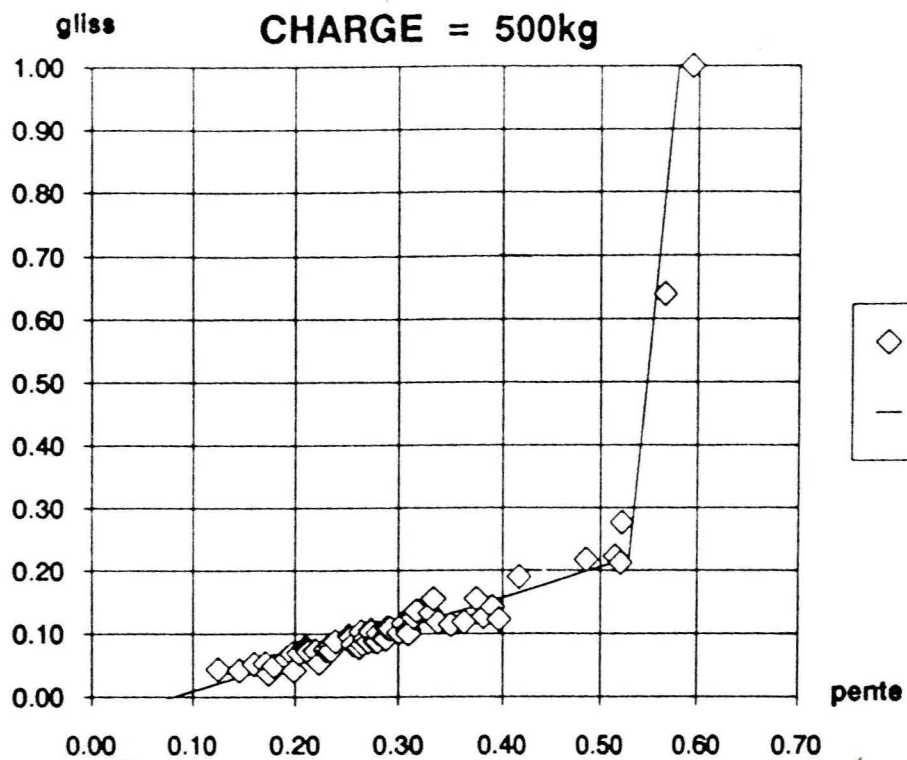
5.4.

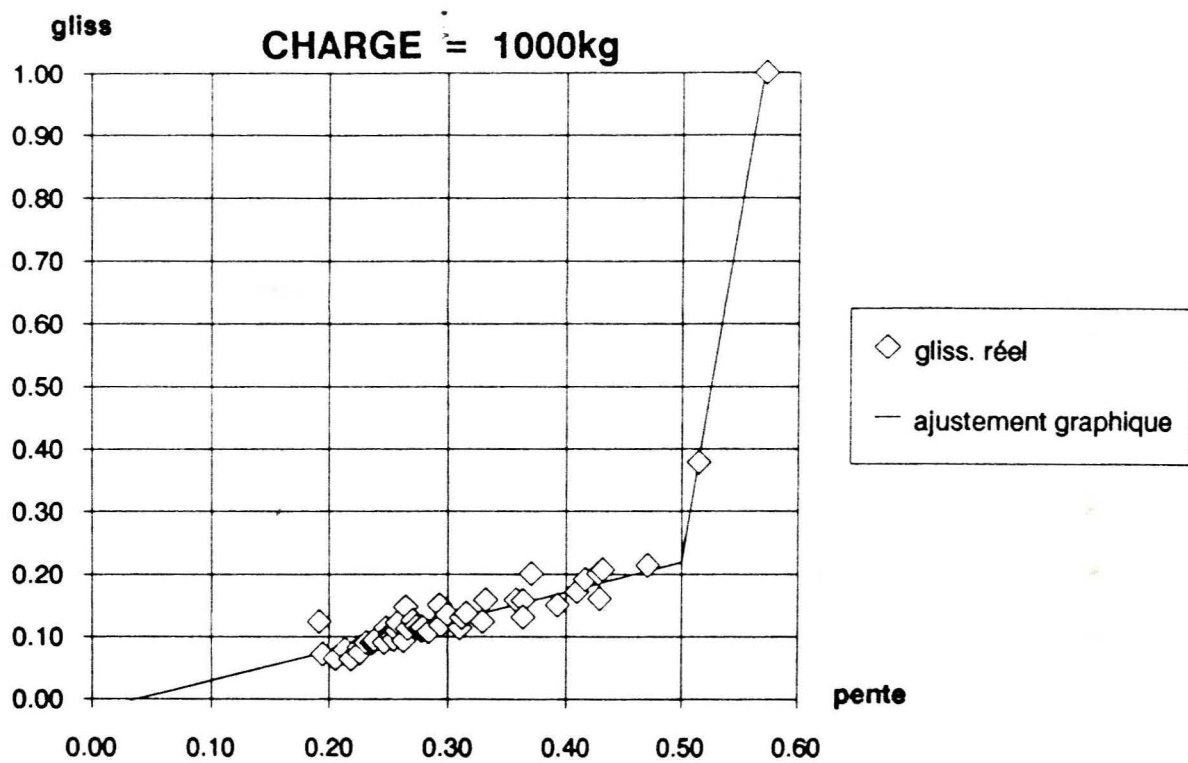
LE MOUFLON 2700

GLISSMENT TOTAUX AJUSTES









ANNEXE 6

**RESULTATS DES AJUSTEMENTS
DE BASE**

RESULTATS DES AJUSTEMENTS

BUCHER TM 850

CHARGE (kg)	a	b	P0	G0	c	d	R2	s2	variation de P0
0	0.307	0.072	0.54	0.23	6.225	-3.13	0.92	0.083	.53 < P0 < .55
100	0.335	0.065	0.42	0.2	3.61	-1.31	0.87	0.086	.40 < P0 < .44
200	0.392	0.062	0.49	0.25	8.015	-3.74	0.92	0.067	.48 < P0 < .51
300	0.295	0.075	0.47	0.21	4.39	-1.85	0.91	0.075	.45 < P0 < .48
400	0.288	0.087	0.44	0.23	4.485	-1.76	0.92	0.084	.43 < P0 < .45
500	0.288	0.088	0.45	0.21	4	-1.71	0.92	0.087	.43 < P0 < .47
600	0.348	0.07	0.45	0.23	5.2	-2.11	0.9	0.086	.44 < P0 < .46

MOTOCULTEUR REV 2300 AVEC LES ROUES

CHARGE (kg)	a	b	P0	G0	c	d	R2	s2	variation de P0
0	0.157	0.104	0.44	0.17	2.48	-0.92	0.91	0.08	.40 < P0 < .48
200	0.37	0.05	0.54	0.25	6.78	-3.41	0.95	0.081	.52 < P0 < .56
400	0.517	0.0086	0.47	0.25	18.34	-8.37	0.92	0.095	.46 < P0 < .48
600	0.546	0.04	0.41	0.26	7.03	-2.62	0.92	0.126	.38 < P0 < .44

MOTOCULTEUR REV 2300 AVEC LES CHENILLES

CHARGE (kg)	a	b	P0	G0	c	d	R2	s2	variation de P0
0	0.117	0.137	-	-	-	-	0.96	0.04	
200	0.265	0.095	0.52	0.23	8.74	-4.31	0.94	0.091	.51 < P0 < .54
400	0.39	0.039	0.48	0.23	8.6	-3.9	0.97	0.06	.47 < P0 < .49
600	0.47	0.031	0.42	0.23	17.3	-7.04	0.74	0.057	.40 < P0 < .44

LE MOUFLON 2700

CHARGE (kg)	a	b	P0	G0	c	d	R2	s2	variation de P0
0	0.379	0.025	0.6	0.22	6.215	-3.504	0.99	0.00015	.59 < P0 < .61
250	0.36	0.004	0.56	0.2	4.97	-2.58	0.96	0.0018	.53 < P0 < .58
500	0.506	0.041	0.53	0.22	13.3	-6.82	0.99	0.0002	.52 < P0 < .54
750	0.532	0.043	0.46	0.2	9.8	-4.305	0.98	0.00037	.45 < P0 < .46
1000	0.487	0.018	0.5	0.22	10.807	-5.178	0.99	0.00026	.49 < P0 < .5

ANNEXE 7

DETERMINATION DES "POINTS DE RUPTURE" DU MODELE

SAS 8:01 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991

NON-LINEAR LEAST SQUARES SUMMARY STATISTICS DEPENDENT VARIABLE Y

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE
REGRESSION	4	82.68472794	20.67118199
RESIDUAL	1249	17.59847206	0.01409005
UNCORRECTED TOTAL	1253	100.28320000	
(CORRECTED TOTAL)	1252	35.14907199	

PARAMETER	ESTIMATE	ASYMPTOTIC	ASYMPTOTIC 95 %
A	0.363385239	0.03933161656	0.2862205847 0.44054989400
B	0.061801284	0.01357376144	0.0351709367 0.08843163151
D	-1.096957126	0.07579305903	-1.2456554436 -.94825880776
X0	0.467997896	0.00546799100	0.4572702501 0.47872554099

STD. ERROR

CONFIDENCE INTERVAL
LOWER UPPER

SAS 8:01 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991

ASYMPTOTIC CORRELATION MATRIX OF THE PARAMETERS

CORR	A	B	D	X0
A	1.0000	-0.9613	0.0000	0.3958
B	-0.9613	1.0000	-0.0000	-0.3044
D	0.0000	-0.0000	1.0000	-0.7266
X0	0.3958	-0.3044	-0.7266	1.0000

Le MOTOCULTEUR avec les CHENILLES

NOTE: CONVERGENCE CRITERION MET.

SAS 8:06 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991

NON-LINEAR LEAST SQUARES SUMMARY STATISTICS DEPENDENT VARIABLE Y

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE
REGRESSION	4	11.125423129	2.781355782
RESIDUAL	147	3.865976871	0.026299162
UNCORRECTED TOTAL	151	14.991400000	
(CORRECTED TOTAL)	150	6.081317881	

PARAMETER	ESTIMATE	ASYMPTOTIC STD. ERROR	ASYMPTOTIC 95 % CONFIDENCE INTERVAL LOWER UPPER
A	0.481831352	0.14789538784	0.1895527986 0.77410990635
B	0.033951627	0.05134355501	-0.0675161753 0.13541942972
D	-1.365743475	0.54233474490	-2.4375335913 -.29395335833
XO	0.501472259	0.02526673375	0.4515388265 0.55140569202

ASYMPTOTIC CORRELATION MATRIX OF THE PARAMETERS

CORR	A	B	D	XO
A	1.0000	-0.9589	0.0000	0.3535
B	-0.9589	1.0000	-0.0000	-0.2804
D	0.0000	-0.0000	1.0000	-0.8220
XO	0.3535	-0.2804	-0.8220	1.0000

Le MOTOCULTEUR avec les ROUES

NOTE: CONVERGENCE CRITERION MET.

SAS 8:10 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991

NON-LINEAR LEAST SQUARES SUMMARY STATISTICS DEPENDENT VARIABLE Y

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE
REGRESSION	4	14.771769285	3.692942321
RESIDUAL	150	4.014030715	0.026760205
UNCORRECTED TOTAL	154	18.785800000	
(CORRECTED TOTAL)	153	7.709890909	

PARAMETER ESTIMATE ASYMPTOTIC ASYMPTOTIC 95 %

	ESTIMATE	STD. ERROR	CONFIDENCE INTERVAL LOWER	CONFIDENCE INTERVAL UPPER
A	0.4217190094	0.24974282061	-0.0717539021	0.91519192081
B	0.0442371310	0.07318170178	-0.1003643729	0.18883863487
D	-0.7299916353	0.16644258903	-1.0588695938	-0.40111367680
XO	0.4084197823	0.02629073344	0.3564712828	0.46036828171

SAS 8:10 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991

ASYMPTOTIC CORRELATION MATRIX OF THE PARAMETERS

CORR	A	B	D	XO
A	1.0000	-0.9718	-0.0000	0.6196
B	-0.9718	1.0000	0.0000	-0.5206
D	-0.0000	0.0000	1.0000	-0.6189
XO	0.6196	-0.5206	-0.6189	1.0000

The SAS System

14:46 Friday, November 22, 1991

Non-Linear Least Squares Summary Statistics

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	4	6.7562164512	1.6890541128
Residual	164	0.4706835488	0.0028700216
Uncorrected Total	168	7.2269000000	
(Corrected Total)	167	4.1515851190	

The SAS System

14:46 Friday, November 22, 1991

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
A	0.396805832	0.05495294905	0.2882982198	0.5053134446
B	-0.008961899	0.015356567060	-0.0396971694	0.0217733716
D	-1.553375170	0.10759497822	-1.7658273566	-1.3409229831
X0	0.496297821	0.00843076936	0.4796508046	0.5129448378

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	A	B	D	X0
A	1	-0.960771492	-5.41418E-16	0.4695166523
B	-0.960771492	1	4.902792E-16	-0.405462143
D	-5.41418E-16	4.902792E-16	1	-0.740896491
X0	0.4695166523	-0.405462143	-0.740896491	1

ANNEXE 8

RESULTATS DE LA MODELISATION

DEP VARIABLE: GLISS

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB>F
MODEL	2	1.03271728	0.51635864	133.128	0.0001
ERROR	970	3.76229629	0.003878656		
C TOTAL	972	4.79501357			

ROOT MSE 0.06227886 R-SQUARE 0.2154
 DEP MEAN 0.179702 ADJ R-SQ 0.2138
 C.V. 34.65675

PARAMETER ESTIMATES

VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER=0	PROB > T
INTERCEP	1	0.06674723	0.007771591	8.589	0.0001
PENTE	1	0.34829634	0.02136074	16.305	0.0001
CHARGE	1	-0.000003306	.00001020442	-0.324	0.7460

Le BUCHER TM 850

SAS 13:36 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991 2

DEP VARIABLE: GLISS

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB>F
MODEL	2	7.93862519	3.96931259	89.683	0.0001
ERROR	277	12.25978588	0.04425915		
C TOTAL	279	20.19841107			

ROOT MSE 0.2103786 R-SQUARE 0.3930
 DEP MEAN 0.3958214 ADJ R-SQ 0.3886
 C.V. 53.14988

PARAMETER ESTIMATES

VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER=0	PROB > T
INTERCEP	1	-1.15951	0.12155249	-9.539	0.0001
PENTE	1	2.83231366	0.22780298	12.433	0.0001
CHARGE	1	0.0003438668	.00005714512	6.017	0.0001

SAS 13:39 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991 2

DEP VARIABLE: GLISS

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB>F
MODEL	2	0.73465136	0.36732568	41.756	0.0001
ERROR	419	3.68595836	0.008797037		
C TOTAL	421	4.42060972			

ROOT MSE	0.09379252	R-SQUARE	0.1662
DEP MEAN	0.1891706	ADJ R-SQ	0.1622
C.V.	49.58091		

PARAMETER ESTIMATES

VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER=0	PROB > T
INTERCEP	1	0.03607479	0.01738039	2.076	0.0385
PENTE	1	0.38046781	0.0442308	8.602	0.0001
CHARGE	1	.00007750457	.00002108632	3.676	0.0003

SAS 13:42 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991 2

Le MOTOCULTEUR avec les CHENILLES

DEP VARIABLE: GLISS

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB>F
MODEL	2	2.74955055	1.37477527	45.644	0.0001
ERROR	74	2.22885724	0.03011969		
C TOTAL	76	4.97840779			

ROOT MSE 0.1735503 R-SQUARE 0.5523
 DEP MEAN 0.3519481 ADJ R-SQ 0.5402
 C.V. 49.31133

PARAMETER ESTIMATES

VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER=0	PROB > T
INTERCEP	1	-1.70254	0.31957841	-5.327	0.0001
PENTE	1	3.49862781	0.58198909	6.012	0.0001
CHARGE	1	0.001118342	0.0001457056	7.675	0.0001

DEP VARIABLE: GLISS

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB>F
MODEL	2	0.09541683	0.04770841	52.946	0.0001
ERROR	87	0.07839317	0.000901071		
C TOTAL	89	0.17381000			

ROOT MSE	0.03001784	R-SQUARE	0.5490
DEP MEAN	0.1643333	ADJ R-SQ	0.5386
C.V.	18.26644		

PARAMETER ESTIMATES

VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER=0	PROB > T
INTERCEP	1	0.02892354	0.01383433	2.091	0.0395
PENTE	1	0.41082924	0.04588863	8.953	0.0001
CHARGE	1	.00006423752	.00001394796	4.606	0.0001

SAS 13:59 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991 2

Le MOTOCULTEUR avec les ROUES

DEP VARIABLE: GLISS

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	PROB>F
MODEL	2	2.68898824	1.34449412	32.654	0.0001
ERROR	61	2.51157270	0.04117332		
C TOTAL	63	5.20056094			
ROOT MSE		0.2029121	R-SQUARE	0.5171	
DEP MEAN		0.4142188	ADJ R-SQ	0.5012	
C.V.		48.9867			

PARAMETER ESTIMATES

VARIABLE	DF	PARAMETER ESTIMATE	STANDARD ERROR	T FOR HO: PARAMETER=0	PROB > T
INTERCEP	1	-1.25698	0.22530606	-5.579	0.0001
PENTE	1	3.01013756	0.43158452	6.975	0.0001
CHARGE	1	0.0007217272	0.0001235521	5.841	0.0001

SAS 14:02 THURSDAY, OCTOBER 31, 1991 2

Model: MODEL1
Dependent Variable: GLISS

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	2	0.39378	0.19689	378.862	0.0001
Error	258	0.13408	0.00052		
C Total	260	0.52786			

Root MSE 0.02280 R-square 0.7460
Dep Mean 0.10843 Adj R-sq 0.7440
C.V. 21.02442

The SAS System
14:50 Friday, November 22, 1991

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0.	Prob > T
INTERCEP	1	-0.036274	0.00550095	-6.594	0.0001
PENTE	1	0.490249	0.01836015	26.702	0.0001
CHARGE	1	0.000013955	0.00000408	3.417	0.0007